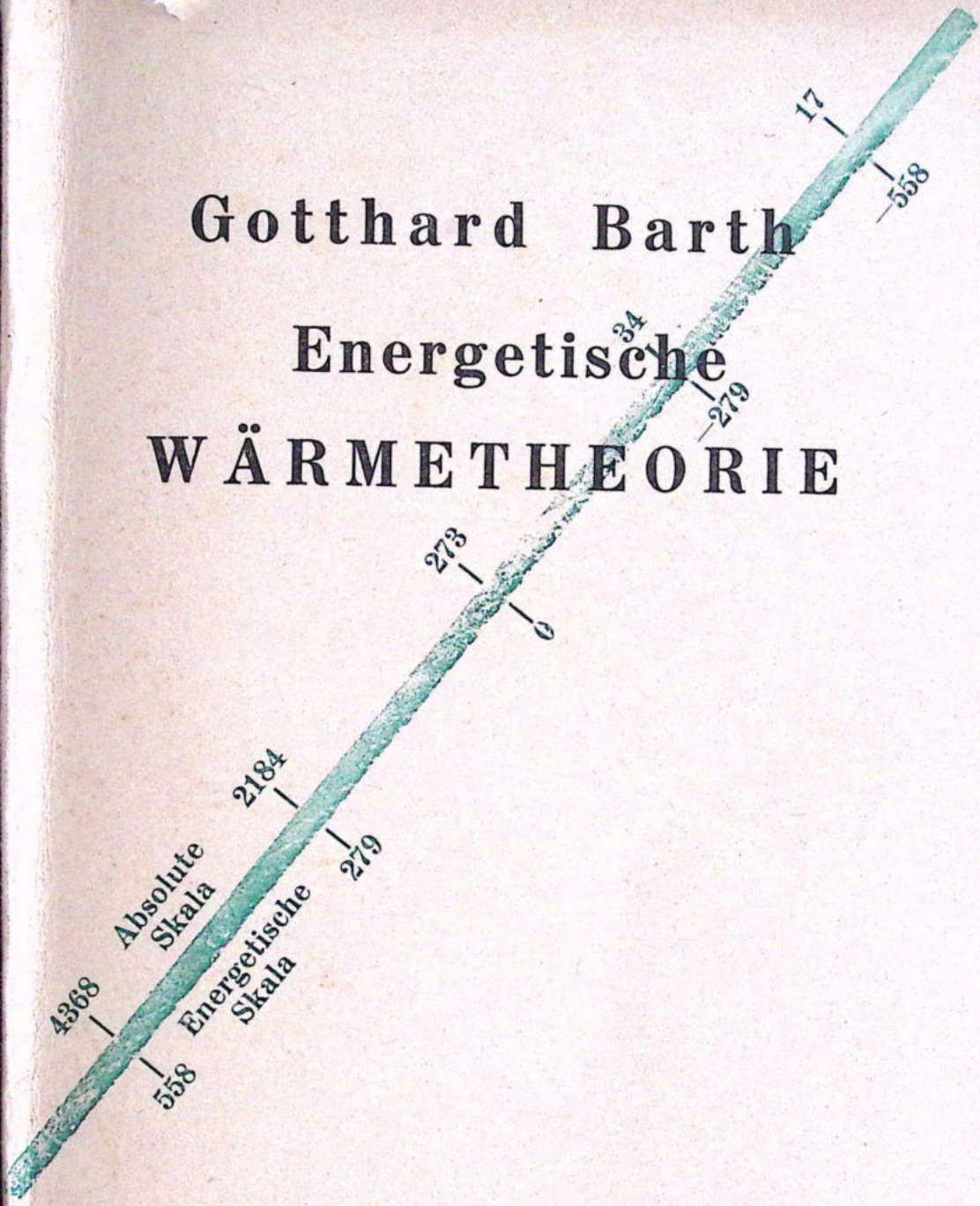
Gotthard Barth

Energetische WÄRMETHEORIE



Gotthard Barth
KRITISCHE WISSENSCHAFT

RATIONALE PHYSIK

Die Grundlagen einer Wissenschaft

335 Seiten 1962 Ganzleinen S 126,-- DM 21,--

Das EINE und das Werden

Die Dialektik der alten Griechen

96 Seiten 1967 S 30,-- DM 5,--

Einstein widerlegt

Rationale Physik gegen magisch-paradoxe Theorie

143 Seiten 3. erweiterte Auflage S 36,-- DM 6,--

Magische Physik

„Jener anmaßende Schwindel" (Nobelpreisträger F. Soddy)

Mit einem einführenden Beitrag von

Univ. Prof. Dr. Wilhelm MÜLLER, München

1970 vergriffen

Energetische Wärmetheorie

und ihre Bedeutung für die Wärmekraftmaschinen

90 Seiten 1975 S 60,-- DM 9,--

Das Fallgesetz

26 Seiten 1978/79 S 35,-- DM 5,--

Erscheint demnächst:

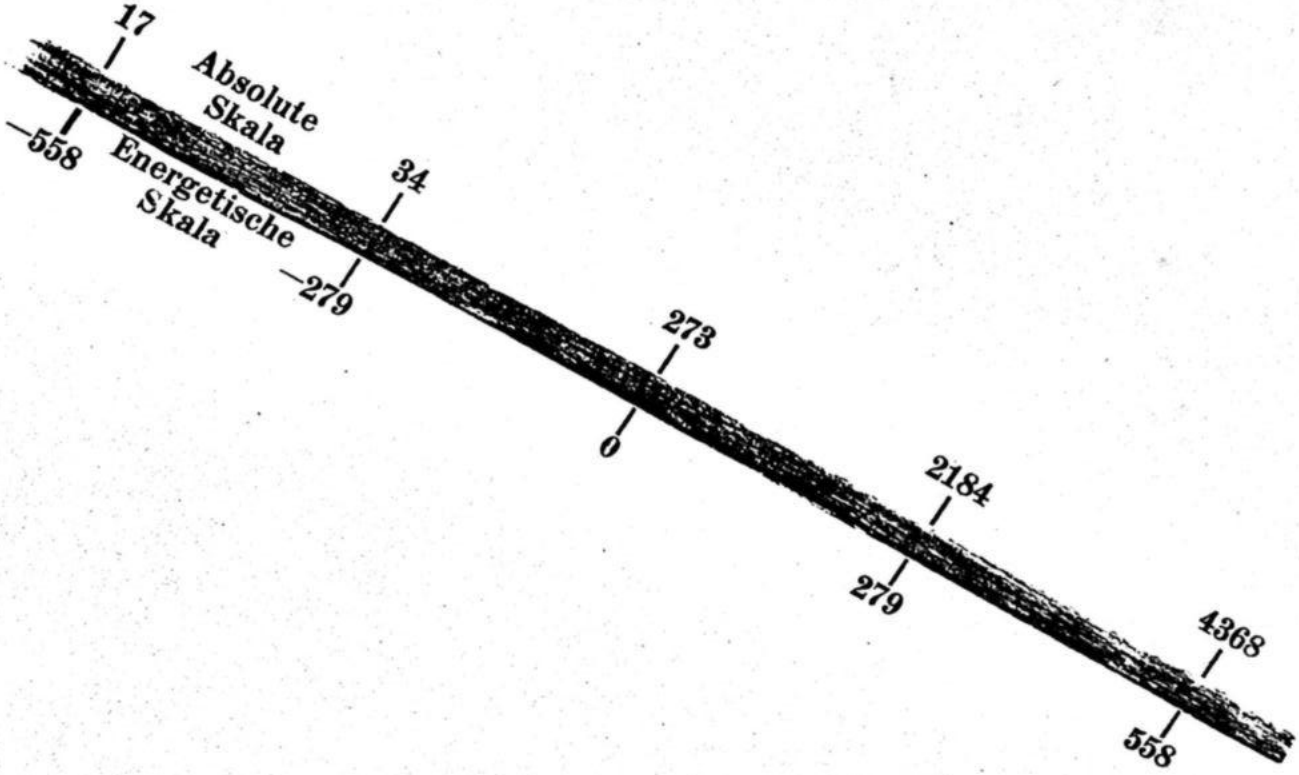
Licht aus den Atomen

Eine völlig neue Theorie des Lichtes auf der Basis der griechischen Dialektik

Rationale Ethik

Erst der Mensch bringt Gut und Böse in die Natur. Sinn und Aufgabe des Menschen ist es, diese Welt menschlich zu machen.

Verlag „WISSEN im Werden" Wien


17
Absolute
Skala
34
−558
Energetische
Skala
−279
273
0
2184
279
4368
558

Gotthard Barth

Energetische WÄRMETHEORIE

und ihre Bedeutung für die

WÄRMEKRAFTMASCHINEN

WISSEN im Werden 1975

ENERGETISCHE THEORIE DER WÄRME

Die Notwendigkeit einer neuen Theorie

Einem einzelnen Forscher ist es unmöglich, ein so weites Gebiet wie die Theorie der Wärme auch nur annähernd vollständig zu bearbeiten. Im Verlaufe von mehr als vierzig Jahren habe ich nach und nach verschiedene Bereiche der klassischen mechanischen Wärmetheorie kritisch untersucht und im Sinne einer energetischen Wärmetheorie entwickelt.

Daß die mechanische Wärmetheorie, wie sie um die Mitte des vorigen Jahrhunderts entstand, schwerste Mängel aufweist und dringend einer vollständigen Erneuerung bedarf, das steht außer Zweifel. Vor allem zwei Gründe will ich hier anführen.

Nach der falschen Formel für den Wirkungsgrad von Wärmekraftmaschinen, mit absoluten Temperaturen, die CLAUSIUS aus dem von ihm aufgestellten Kreisprozeß („Carnotprozeß") ableitete, wird ausgeschlossen, daß Wärmeenergie vollständig in andere Energieformen umgewandelt werden kann. Wärmeenergie ist „minderwertig".

Nach den Grundlagen der energetischen Wärmetheorie, die im wesentlichen schon von Joseph BLACK und Sadi CARNOT angewandt wurden, ist die Wärmeenergie eine Form der Energie wie jede andere Energie. Dies entspricht der großen Entdeckung Robert MAYERs (1842). Bei technischen Maschinen sind für den Wirkungsgrad selbstverständlich nur wirkliche, relative Temperaturen bestimmend, aber nicht ein mathematisch bestimmter, in der Wirklichkeit der Natur irrealer „absoluter" Nullpunkt. Die Formel für den Wirkungsgrad von Wärmekraftmaschinen mit relativen Temperaturen wurde schon von CARNOT in seiner viel gerühmten Schrift (1824) verwendet.

Wenn unsere Wärmekraftmaschinen nur beschämend geringe Wirkungsgrade erreichen, so liegt das nicht an einer Besonderheit der Wärmeenergie, sondern an der Besonderheit der gebräuchlichen Wärme-Expansionsmaschinen. Über die angebliche Besonderheit, die Minderwertigkeit der Wärmeenergie hat besonders Max PLANCK ausführlich philosophiert. Die Unvollkommenheit unserer Wärmekraftmaschinen ist aus ihrer historischen Entwicklung zu verstehen. Daneben hat aber die falsche mechanische Wärmetheorie wesentlichen Anteil an dem äußerst geringen Effekt der Wärmekraftmaschinen. Der Dogmatismus der falschen Theorie verhindert jede ernsthafte Forschung zur Entwicklung neuartiger Wärmekraftmaschinen. Die Patentämter lehnen ungeprüft jede Erfindung ab, die einen höheren Wirkungsgrad erreichen will, als es die falsche Formel von Clausius erlaubt. Für solche Forschungen kann es kein positives Gutachten eines „Fachmanns" geben. Eine rühmliche Ausnahme war der weltbekannte Wiener Dampfturbinenbauer Franz LÖSEL, der für die Benzol-Wasserdampfmaschine von Rudolf DOCZEKAL ein glänzendes Gutachten schrieb. Ohne positives Gutachten eines Fachmanns gibt es aber in unserem wissenschaftlichen Zeitalter weder eine öffentliche noch eine private Förderung von Forschungsarbeiten.

Verschiedene Vorrichtungen, im besonderen das Dampfturbinentriebwerk von Franz Lösel (1943), die Brennstoffzellen u.ä., und vor allem die Umsetzung von Verbrennungsenergie im lebenden Organismus übertreffen den nach Clausius erlaubten Wirkungsgrad bei weitem.

Nach meiner energetischen Temperaturskala wird für ein ideales Gas einer perzentuell gleichbleibenden Volumsänderung um 1/273, d.i. um 0,36% je ein Temperaturschritt zugeordnet. Die energetische Temperaturskala reicht somit von plus unendlich bis minus unendlich. Der Nullpunkt ist dem Nullpunkt der Celsiusskala gleichgesetzt. Nach

dieser energetischen Temperaturskala ist die Formel von Clausius ebenfalls sinnlos, da es keinen absoluten Nullpunkt der Temperatur gibt.

Der zweite Grund für eine totale Ablehnung der mechanischen Wärmetheorie ist für mich vor allem entscheidend: die zahlreichen primitiven Denk- und Rechenfehler, die die mechanische Theorie der Wärme seit bald 150 Jahren mit sich schleppt. Clausius und seine Nachfolger sind der großen Gefahr jeder mathematischen Theorie erlegen: Ein paar im Experiment überprüfbare Ziffern genügen vollauf, die „Richtigkeit" der Rechnungen zu „beweisen". Da der Rechenvorgang selbst nach festgelegten und erlernten Regeln vor sich geht, erübrigt sich ein selbständiges und kritisches Nachdenken. Die Rechnung ist richtig. Damit ist die Theorie „richtig" und jeder logische oder physikalisch experimentelle Einwand bleibt hoffnungslos.

Der Algorithmus folgt zielstrebig und zwangsläufig den ihm innewohnenden Gesetzen. Diesen autonomen und automatischen Ablauf der Rechnung sehen wir offen an den Rechenmaschinen. Der Computer kann sich nicht irren. Das ist richtig. Irren kann sich nur der Mensch, der die Maschine falsch programmiert und ihr falsche Daten eingibt. Eine solche Möglichkeit schließen die mathematischen Theoretiker der Physik von vornherein aus.

Die Schöpfer der mechanischen Wärmetheorie hatten zur Natur, zur experimentellen Physik kaum eine Verbindung. Sie hatten aber auch die Mathematik nur als technische Fertigkeit erlernt, nicht als kritische und problematische Wissenschaft. So entwickelten sie ihre wirklichkeitsfremden Theorien mit dem überheblichen Bewußtsein mathematischer Unfehlbarkeit. In meiner „Rationalen Physik" (S. 82 - 104) habe ausführlich über den Sinn und über die Grenzen der Mathematik in der Physik geschrieben.

Zur Rechtfertigung meiner Bemühungen, eine neue, energetische Wärmetheorie zu entwickeln, werden, so meine

ich, einige wenige Rechenbeispiele genügen. Am primitivsten irrt die Theorie in der Berechnung des mechanischen Wärmeäquivalents (Robert Mayer 1842). Der geniale Gedanke MAYERs, daß es in der Natur verschiedene Energieformen gibt und daß diese Energieformen ineinander umwandelbar sind, wird durch seine Rechnung nicht berührt. Die Voraussetzungen seiner Rechnung übernahm Mayer von der zeitgenössischen Theorie.

Mayer erwärmt 1 kg Luft. Dabei wird der abschließende Deckel des Gefäßes ($1 m^2$) gehoben. Auf dem Deckel lastet Atmosphärendruck, über 10 Tonnen. Mayer übersieht aber, daß auch auf der Unterseite des Deckels Atmosphärendruck herrscht, daß also auch auf der Unterseite des Deckels 10 Tonnen nach oben drücken. Jeder elementare Versuch, nicht in Gedanken, sondern in der Wirklichkeit ausgeführt, deckt diesen primitiven Denk- und Rechenfehler auf. Dennoch wurde diese Rechnung über Generationen von Professoren weitergegeben, denn die errechnete Zahl ist (beinahe) „richtig". Ein Wiener Professor für theoretische Physik nennt diese primitiv falsche Rechnung Mayers „mathematisch reif".

Ich war aufs höchste erstaunt, als ich diesen geradezu unglaublichen Fehler entdeckte. Doch nicht minder war mein Erstaunen, als ich feststellen mußte, daß 18 Jahre vor Mayer CARNOT die gleiche Rechnung durchgeführt hatte: Carnot aber hat den Innendruck, die „elastische Kraft" der eingeschlossenen Luft nicht vergessen. Im Prinzip entspricht das Gedankenexperiment der atmosphärischen Dampfmaschine, bei der durch Dampf der Kolben gehoben wird. Durch den Luftdruck wird dann der Kolben nach unten gedrückt und das Gestänge einer Pumpe gehoben. Diese Arbeitsleistung entsteht durch die Druckdifferenz zwischen äußerem Atmosphärendruck (1 at) und innerem Kondensationsdruck (0,2 at). Dem Techniker Carnot waren diese Bedingungen selbstverständlich bekannt. Der

Arzt Mayer und der mathematische Theoretiker Clausius hatten keinen Zugang mehr zu dieser technischen Wirklichkeit.

Gerade Carnot wird von den Vertretern der mechanischen Wärmetheorie ständig genannt. Man kann annehmen, daß seine Schrift, zumindest im vorigen Jahrhundert, auch gelesen wurde. Clausius und sicher auch Mayer kannten Carnots Schrift nicht. Der berühmte physikalische Chemiker W. OSTWALD hat Carnots Arbeit ins Deutsche übersetzt. Daß niemand diesen Unterschied gegen Mayers Rechnung bemerkte, ist allein durch den naiven Glauben an die Unfehlbarkeit der Mathematik verständlich. Mayers Rechnung liefert, wie gesagt, eine beinahe richtige Zahl. Wenn die Zahl stimmt, dann gibt es nichts zu kritisieren, nichts mehr zu denken. Die kritische Analyse einer „richtigen" Rechnung kommt heute einer Gotteslästerung gleich.

Ein zweiter grundlegender Fehler ist die falsche Formel für die Arbeit: $A = pdv$, Arbeit = Druck mal Volumsänderung. Daß diese Formel nur bei konstantem Druck richtig ist, wissen die mathematischen Theoretiker; im Verlauf der Rechnung aber vergessen sie es. Arbeit = Kraft mal Weg. Diese elementare Formel der Mechanik übertrug Clausius unbedenklich auf die Thermodynamik der Gase.

In der Gasgleichung

$$p.v = R.T \qquad (1)$$

stellt das Produkt p.v (Druck mal Volumen) eine Energie dar. Arbeit ist die Änderung der Energie, $A = \Delta E$, oder differentiell

$$dE = d(p.v) = p.dv + v.dp, \qquad (2)$$

nach einer elementaren Regel der Differentialrechnung.

Dadurch, daß das zweite Glied des Differentials v dp, nämlich die Druckänderung, in der Theorie von Clausius nicht vorkommt, wird ein weiteres Wunder möglich: Der von Clausius nach Carnot benannte Kreisprozeß liefert einen Arbeitsgewinn. Carnot war in seinen Überlegungen

von der Voraussetzung ausgegangen, daß in einem Kreisprozeß die gewonnene Arbeit nicht größer sein kann als die zur Wiederherstellung des Ursprungszustandes benötigte Arbeit: Ein Perpetuum mobile ist ausgeschlossen. Clausius aber gewinnt (der Potentialtheorie entgegen) aus einem Kreisprozeß Arbeit.

Auch dieser grobe physikalische Unsinn war nur möglich, weil die mathematische Ableitung dieses Arbeitsgewinnes so interessant und kompliziert ist — über je zwei Isothermen und zwei Adiabaten —, daß niemand es gewagt hätte, diese so schöne Rechnung kritisch zu durchdenken.

Doch sei schon hier festgehalten, daß auch das vollständige Differential (2), das die Druckänderung berücksichtigt, nur das Ergebnis einer abstrakten mathematischen Theorie ist, ohne Beziehung zur physikalischen und technischen Wirklichkeit. Die Energie eines eingeschlossenen wirklichen Gases wird nicht durch seinen Innendruck (Clausius) bestimmt, aber auch nicht durch den Außendruck; auf diesem ebenfalls einseitigen, mathematisch theoretischen Standpunkt steht Mayer mit seiner falschen Rechnung. Die Energie eines eingeschlossenen Gases und damit seine Arbeitsfähigkeit wird vielmehr in der Wirklichkeit, im Gegensatz zur abstrakten mathematischen Theorie, von der Druckdifferenz zwischen eingeschlossenem Gas und Umgebung bestimmt. Mit dieser Einsicht rechnet CARNOT das gleiche Beispiel wie Mayer, und zwar dem Prinzip nach richtig. Auf diesem realistischen, nicht abstrakten Standpunkt standen auch die Dampfmaschinenbauer seiner Zeit.

Das falsche, unvollständige Differential $d(p.v) = p.dv$, der vergessene Innendruck in der Rechnung Mayers, der vergessene Außendruck in den mathematischen Kreisprozessen von Clausius, die bei einem Kreisprozeß gewonnene Arbeit, schon diese elementaren Denk- und Rechenfehler scheinen mir hinreichend Grund, an der Unfehlbarkeit dieser mathematischen Entwicklungen zu zweifeln.

Daß die kinetische Gastheorie weit weg von jeder mechanischen Wirklichkeit ihre schönen Rechnungen führt, war nie Gegenstand ernsthafter Kritik. Nehmen wir ein zweiatomiges Gas. Ein hantelförmiges Gebilde wirbelt durch den leeren Raum, wobei es um zwei mathematisch wohl unterschiedene freie Achsen rotiert. Bei einem Zusammenstoß mit einem zweiten gleichen und ebenso rotierenden Gebilde wird in vollkommen elastischem Stoß die translatorische Bewegung ausgetauscht. Die Rotationsbewegungen bleiben dabei, im Mittel, durch den Zusammenstoß unverändert. Dies alles ohne auch nur den geringsten Verlust an mechanischer Energie. Rotationen und translatoriche Bewegungen (in den drei Richtungen der Koordinatenachsen) werden durch Wärmezufuhr beschleunigt, durch Wärmeentzug verlangsamt. Das soll dadurch geschehen, daß die rotierenden hantelförmigen Gebilde durch die schwingenden Moleküle der Gefäßwand zurückgeworfen werden. All das geschieht, im statistischen Schnitt, in der durch die Rechnung vorgeschriebenen Weise: Die von den vibrierenden Gefäßmolekülen zugeführte oder entzogene Bewegungsenergie wird nach dem Gleichverteilungssatz auf Translationen und Rotationen verteilt. Ja auch bei den Zusammenstößen der hantelförmigen Gasmoleküle werden Temperaturänderungen weitergegeben, als vermehrte oder verminderte Bewegungsenergie mit 5 Freiheitsgraden. Ich hoffe, daß ich nicht der einzige Mensch bin, der solche Vorgänge mechanisch für völlig ausgeschlossen hält.

Der vollkommen elastische Stoß wird an polierten Elfenbeinkugeln demonstriert. In einem Raum, in dem diese hantelförmigen Moleküle rotierend und stoßend durcheinander wirbeln, würde sich, davon bin ich überzeugt, in kürzester Zeit jene ideale Unordnung einstellen, von der die mathematischen Theoretiker immer wieder philosophieren, ohne je darüber nachgedacht zu haben. Kommende Generationen werden die unglaubliche physikalische Naivität unserer mathematischen Theorie bewundern.

Die mathematische Physik, im Vertrauen auf die Unfehlbarkeit der mathematischen Methode, erzieht ihre Anhänger systematisch dazu, auf selbstkritisches Denken zu verzichten. Man mag meine energetische Wärmetheorie annehmen oder ablehnen. Die Tatsache, daß die falsche Rechnung von R. Mayer in jedem Lehrbuch der Physik enthalten ist, beweist unausweichlich, daß die mathematische Physik von göttlicher Unfehlbarkeit weit entfernt ist. Wenn die zahlreichen Rechner im Laufe von Jahrzehnten auf ein paar Zahlen stoßen, die mit der beobachteten und gemessenen Wirklichkeit übereinstimmen, so ist das noch kein Beweis für die Richtigkeit der mathematischen Theorien und kein Beweis für die Unfehlbarkeit der mathematischen Methode. Die beschämenden Rechenfehler, die die mechanische Theorie der Wärme durch Jahrzehnte kritiklos übernahm und weitergab, sollten die anmaßende Selbstsicherheit der Rechner auf ein menschliches Maß reduzieren. Mathematik schützt nicht vor ganz primitiven Fehlern.

Die Theorie der Wärme

Die elementaren Erfahrungen

Die weitaus wichtigste Form der Energie ist auf unserer Erde die Wärmeenergie, die uns aus dem Temperaturgefälle zwischen Sonne (etwa 6000°C) und Erde (etwa −70°C) zur Verfügung steht. Die Grundlagen der physikalischen Wärmetheorie wurden schon von dem englischen Arzt und Chemiker Joseph BLACK (1728 - 1799) entwikkelt. Black unterschied (1760) die Kraft der Wärme (Temperatur) von der Menge der Wärme, und weiter die Wärmekapazität verschiedener Materialien. Diese klaren und durchdachten Vorstellungen gingen im vorigen Jahrhundert verloren. Die Theorie der Wärme wurde zu einem Feld wilder mathematischer Spekulationen, zu einem der interessantesten Gebiete der mathematischen Physik. Doch wir wollen bei Black beginnen.

Die erste Tatsache, die wir in der Wärmelehre erfahren, ist: Es gibt warme und kalte Körper. Weiter sehen wir, daß warme Körper ihre Umgebung erwärmen; ein heißer Ofen wärmt das Zimmer. Kalte Körper kühlen ab: Bringen wir in einen warmen Raum einen Eisblock, so verbreitet er Kälte um sich.

In diesen Beobachtungen wird ein grundlegendes, ganz allgemeines Naturgesetz sichtbar: Jedes wirkliche Ding in der Natur sucht seine Umwelt sich selbst anzupassen, jeder Körper verändert die Körper seiner Umgebung, bis sie ihm gleich geworden sind — soweit dies möglich ist. In unserem Fall: Ein warmer Körper erwärmt einen kalten Körper, ein kalter Körper kühlt einen warmen ab, bis beide Körper gleich warm oder gleich kalt geworden sind. Hier nur dem heißen Körper Aktivität zuzuschreiben, dem kalten Körper aber nur passives Erleiden, wäre reine Willkür: Beide Körper wirken aufeinander, bis sie einander gleich geworden sind. Das ist das allgemeinste Naturgesetz.

Wenn wir ein Gefäß mit warmen Wasser ins Freie tragen, so kühlt sich das Wasser ab, wenn die Umgebung kälter ist als das Wasser. Es kann aber auch sein, daß das Wasser im Freien wärmer wird, nämlich dann, wenn die Umgebung wärmer ist als das Wasser. Beide Veränderungen, das Kälterwerden und das Wärmerwerden geschehen nicht „von selbst", sondern deswegen, weil es in der Natur Gesetz ist, daß sich Potentialdifferenzen ausgleichen. Zwischen Wasser und Umgebung besteht eine solche Potentialdifferenz, eine Temperaturdifferenz. Daß warme Körper „von selbst" kälter werden (Clausius), wie wir das in den Schulbüchern lesen, ist einer der grundlegenden Fehler der mechanischen Wärmetheorie.

Die Wahl der Maße und der Maßeinheiten

Um zu einer physikalischen Lehre von der Wärme zu kommen, mußten Maße und Maßeinheiten vereinbart werden. Schon GALILEI und sein Freund und Schüler

TORRICELLI hatten die Volumsänderungen, die mit Temperaturänderungen verbunden sind, als Maß der Temperatur verwendet. An ein Gefäß wird eine dünne Röhre angeschlossen, in der sich die Oberfläche einer Flüssigkeit befindet. Jede Erwärmung oder Abkühlung ergibt eine Verschiebung der Flüssigkeitsoberfläche. Die Temperaturänderung wird so im Längenmaß meßbar.

Um zu vergleichbaren Maßangaben zu gelangen, mußte eine Normtemperatur festgelegt werden. Newton hatte bereits drei Normpunkte vorgeschlagen: schmelzendes Eis, verdampfendes Wasser und die Körpertemperatur des Menschen. Diese Temperatur übernahm FAHRENHEIT für seine Skala mit 100°. Als Nullpunkt, als niedrigste Temperatur wählte er eine Kältemischung (−32°C). Die Normpunkte von CELSIUS, schmelzendes Eis und siedendes Wasser sind von der Temperatur der Umgebung unabhängig. Ob wir Wasser bei einer Außentemperatur von 0° oder bei einer Außentemperatur von 90° zum Sieden bringen, die Temperatur des ausströmenden Dampfes bleibt immer die gleiche. (Vom wechselnden Luftdruck sehen wir ab.) Gleiches gilt vom schmelzenden Eis oder vom gefrierenden Wasser: Ob wir Eis in einer Umgebung von 30° zum Schmelzen bringen oder Wasser in einer Umgebung von −30° gefrieren lassen, die Temperatur der Wasser-Eismischung ist immer gleich, 0°C.

Die Wahl von zwei Standardtemperaturen war nicht sehr glücklich. Celsius teilte den Temperaturabstand zwischen siedendem Wasser und schmelzendem Eis in 100 gleiche Teile. Damit war in allen Temperaturbereichen einer gleichgroßen Volumsänderung jeweils ein gleicher Temperaturschritt zugeordnet. Man hatte zu dieser Zeit, das muß natürlich bedacht werden, kaum Anlaß, eine andere Zuordnung von Volumsänderung und Temperaturänderung zu erwägen. REAUMUR hatte wohl nur einen Temperaturnormpunkt, das schmelzende Eis, aber auch er teilte jedem

Temperaturgrad eine gleich große Volumsänderung zu, nämlich 1/1000 seines Thermometerinhalts (Wasser und Alkohol) bei 0°.

Diese gleich große Volumsänderung bei jeder Temperaturänderung um 1° wurde dann auch beim Gasthermometer beibehalten. Bei festen und flüssigen Stoffen ist die Volumsänderung mit der Temperaturänderung, der thermische Ausdehnungskoeffizient, sehr klein. Das Volumen des Quecksilbers vergrößert sich bei einer Temperaturerhöhung von 0° auf 100° um weniger als 2%. Ein Gas aber dehnt sich bei der gleichen Temperaturzunahme von 0° auf 100° um mehr als ein Drittel aus. DALTON (1801) und GAY-LUSSAC (1802) stellten durch Messung fest, daß sich Luft und die anderen Gase bei einer Erwärmung von 0° auf 1° um 1/273 ihres Volumens ausdehnen. Zu dieser Zeit war das Temperaturmaß durch das Quecksilberthermometer bereits festgelegt.

Die „absolute" Kelvinskala

Die unmittelbare Folge dieser unglücklichen Wahl des Temperaturmaßes war die Einführung der absoluten Temperaturskala durch Lord KELVIN (um 1850). Wird ein Gas von 0° um 1° abgekühlt, so nimmt sein Volumen um 1/273 ab. Wird es weiter um 1° auf −2° abgekühlt, so verringert sich sein Volumen um den gleichen Betrag, um 1/273 seines Volumens bei 0°C, und so weiter. Nach 273 Schritten ist das Gasvolumen gleich null. Man nahm dieses Rechenergebnis als sensationelle Entdeckung hin, ohne sich weiter den Kopf darüber zu zerbrechen, ob hier wirklich die Natur einen „absoluten" Punkt der physikalischen Messung zugänglich macht.

An sich war die Idee dieses Nullpunktes nicht neu: Schon 1703 hatte AMONTONS von einer größten Kälte gesprochen, bei der der Druck eines Gases gleich null wird. Durch die Kelvinskala war also das absolute Nichts, das Volumen null und der Druck null bei der Temperatur null

in den Bereich der physikalischen Messung geraten. Da diese schöne Rechnung doch nicht der Wirklichkeit entsprechen konnte, mußte schließlich NERNST 1906 einen eigenen 3. Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie aufstellen, der nichts weiter besagt, als daß man in der physikalischen Wirklichkeit den von Kelvin errechneten absoluten Nullpunkt der Temperatur nicht erreichen kann.

Die energetische Temperaturskala

Auf die eigentlichen Ursachen dieser Schwierigkeiten habe ich bereits hingewiesen. Durch die Temperaturskala mit gleich groß bleibender Volumsänderung wird die durch Wärme hervorgerufene Volumsänderung unabhängig von der jeweiligen Temperatur und vom jeweiligen Volumen des Gases. Wird ein Gas von 0°K auf 1°K erwärmt, so wächst sein Volumen von 0 auf 1/273 seines Volumens bei 273°K. Wird das Gas weiter um 1° erwärmt, so verdoppelt sich sein Volumen, auf 2/273 seines Volumens bei 0°C. Zur Volumsverdoppelung genügt Erwärmung um 1°. Um das Volumen eines Gases von 0°C zu verdoppeln, müssen wir es um 273° erwärmen.

Um ein anschauliches Bild zu gebrauchen: Zur Einlage auf der Sparkasse wird alle Jahre der gleiche Betrag zugeschlagen, ohne Rücksicht darauf, daß das Kapital im Laufe der Jahre eben durch die Zuschläge angewachsen ist. Auf die Wärme übertragen: Durch die Erwärmung um 1° wird jeweils nur das Stammvolumen (von 1°C) verändert, ohne Rücksicht auf das durch Temperaturänderungen tatsächlich erreichte Volumen.

Der physikalischen Wirklichkeit entspricht dagegen eine Temperaturskala, die einer perzentuell gleichen Volums- oder Druckänderung jeweils eine gleiche Temperaturänderung zuschreibt. Daß sich das Volumen eines Gases bei 0°C um 1/273 vergrößert, wenn seine Temperatur um 1° erhöht wird, ist experimentell gemessene Tatsache. Wir können danach festsetzen:

Die Temperatur eines idealen Gases ändert sich um 1°, wenn sich das Volumen des Gases um 1/273 ändert, d.i. um 0,3663% seines jeweiligen Volumens. Bei dieser natürlichen energetischen Temperaturskala gibt es keinen absoluten Nullpunkt. Die Volumsabnahme um 1/273 des jeweiligen Volumens entspricht einer Temperaturabnahme um 1°. Diese Volumsabnahme wird (absolut) bei jedem Temperaturschritt kleiner und erst nach unendlich vielen Schritten, bei der Temperatur minus unendlich unendlich klein.

Die gebräuchliche Temperaturskala von Celsius und Kelvin ordnet der arithmetischen Reihe der Temperaturen 0°, 1°, 2°, 3° ... eine arithmetische Reihe der Volumina zu: v_0, v_0+a, v_0+2a, v_0+3a..., wobei der thermische Ausdehnungskoeffizient $\alpha = a/v_0$ ist. Diese arithmetische Reihe entspricht der Wärmestofftheorie: Bei jedem Temperaturschritt wird die gleiche Menge des Wärmefluidums dazugegeben.

Hält man die Wärme aber für eine Form der Energie, dann ist diese arithmetische Reihe offensichtlich unrichtig. Eine bestimmte Wärmemenge wirkt auf alle Elemente des erwärmten Körpers, also werden alle Elemente in gleichem Maße verändert, eben um einen bestimmten Prozentsatz vergrößert oder verkleinert. Bei Gasen von 0°C und Atmosphärendruck beträgt dieser Prozentsatz $\alpha = 1/273 = 0{,}00366$, das sind 0.366% (bei einer Temperaturänderung um 1° Celsius). Bei einem Gas von 1°C wirkt die gleiche Wärmemenge wiederum auf alle Elemente des Gases, die jetzt (bei unveränderter Anzahl) einen um 1/273 größeren Raum einnehmen als bei der Temperatur von 0°C. Die gleiche Wärmemenge bewirkt wiederum eine Volumsvergrößerung um 0,366%. Und so weiter. Bei jeder Temperatur bewirkt die gleiche Wärmemenge, die durch die spezifische Wärme des Stoffes gegeben ist, die gleiche perzentuelle Volumsänderung. Durch die Wärmezufuhr wird nicht ein Etwas, eine Substanz „Wärme" zum Volumen des

Gases hinzugefügt, sondern das Volumen des Gases, jedes Element, wird durch die zugeführte Wärme verändert, größer oder kleiner, und zwar um den bei der Standardtemperatur gemessenen Prozentsatz von 0,336%. Die Wärmeenergie und damit der Ausdehnungskoeffizient wirken auf das jeweilige Volumen multiplikativ, nicht additiv. In meiner „Rationalen Physik", im Kapitel „Mathematik und Physik" habe ich diesen prinzipiellen Unterschied dargelegt.

Der arithmetischen Reihe der Temperaturen 0^o, 1^o, 2^o, 3^o... entspricht eine geometrische Reihe der Volumina: v, v.a, (v.a).a, $(v.a^2).a$ ..., oder v, v.a, $v.a^2$, $v.a^3$, ...

Die gleiche Gasmenge (1 kg, 1 g oder 1 Mol) wird also durch die gleiche Wärmemenge bei dem kleinen Volumen bei 1^oK in gleichem Verhältnis verändert wie bei dem großen Volumen bei 1000^oC. Ihr Volumen nimmt bei jeder Temperatur um 0,36% ihres jeweiligen Volumens zu oder ab, wenn sie um 1^o der energetischen Temperaturskala erwärmt oder abgekühlt wird.

Die Wahl des Nullpunktes einer Temperaturskala und die Größe des Temperaturschrittes sind Sache der Konvention. Den Nullpunkt der Celsiusskala für die energetische Temperaturskala beizubehalten, wäre zweckmäßig. Ob man gerade die historisch an die Celsiusgrade gebundene Volumsänderung von 1/273 beibehalten soll, ist eine andere Frage. Es wäre einfacher, eine Volumsänderung von 1/100 (1%) oder größerer Genauigkeit wegen von 1/1000 (ein Promille) zu wählen. Von der Nulltemperatur der Celsiusskala ausgehend wäre dann jeder Volumsänderung um ein Tausentel des jeweiligen Volumens ein Temperaturschritt, ein Grad der energetischen Skala zuzuordnen.

Es ist selbstverständlich, daß sich die Wissenschaft jeder Norm, und sei es auch eine verfehlte, anpassen muß. Dies gilt in besonderem Maße für die Chemie und ihr Bemühen, chemische Umsetzungen thermodynamisch berechenbar zu machen. Auf diese Schwierigkeiten, die Differenz

zwischen dem „chemodynamischen Gradintervall" und den Celsiusgraden weist z.B. F. Haber (Thermodynamik technischer Gasreaktionen, München 1905) besonders hin. Die energetische Temperaturskala bringt die Theorie der physikalischen Wirklichkeit einen wesentlichen Schritt näher.

Für unsere alltäglichen Messungen, auch in der Physik und in der Technik, ist die Skala von Celsius durchaus zweckmäßig. Für die Tieftemperaturforschung, die auch in der Technik immer größere Bedeutung erlangt, wird die energetische Temperaturskala mit perzentuell gleichbleibender Volumsänderung ihren Wert erweisen.

Die Wärmemenge

Schon BLACK wußte, daß die Temperatur allein nicht hinreichend ist, den Wärmegehalt eines Körpers zu bestimmen. Die Erfahrung lehrt uns, daß etwa ein glühender Funke kaum Schaden verursacht; ganz anders ein großes Stück glühende Kohle. Wesentlich mitbestimmend für die Größe der Wärmeenergie ist auch die Menge der Materie, die Masse des betreffenden Körpers. Wenn ich in das kalte Badewasser 10 Liter kochendes Wasser schütte, so füge ich zehnmal mehr Wärme zu, als wenn ich nur ein Liter kochendes Wasser hineinschütte.

Die schließlich erreichte Temperatur des Badewassers wird also bestimmt durch die Temperatur des zugefügten Wassers, warm, heiß oder kochend. Die Temperatur ist das eine Bestimmungsstück der Wärme. Weiter bestimmend ist, wieviel ich von dem warmen, heißen oder kochenden Wasser hinzufüge, also die Menge der zugefügten Materie. Für diese thermische Bestimmungsgröße wollen wir das Wort Wärmemenge gebrauchen, obwohl in der verworrenen Theorie des vorigen Jahrhunderts vielfach die Wärmemenge einfach der Wärmeenergie gleichgesetzt wird. Darum sei besonders hervorgehoben: Temperatur und Wärmemenge sind nur Teilbestimmungsstücke der Wärme, wie dies schon Black klar erkannt hat.

Weiter wußte Black, daß nicht alle Körper bei gleichem Gewicht und bei gleicher Temperatur die gleiche Wärmemenge enthalten. Die Wärmemenge, die notwendig ist, 1kg (1g) Wasser um 1°C zu erwärmen oder abzukühlen, nennen wir 1 Kilogrammkalorie (Cal) (bezw. 1 Grammkalorie, cal). Oder umgekehrt, wenn 1kg Wasser um 1° wärmer oder kälter wird, hat es 1 Cal aufgenommen oder abgegeben.

Die Wärmemenge, bezogen auf die Gewichtseinheit, ist die spezifische Wärme des betreffenden Stoffes. Die spezifische Wärme des Wassers ist gleich 1. Die spezifischen Wärmen aller anderen Stoffe sind kleiner. Um 1kg Quecksilber um 1° zu erwärmen oder abzukühlen braucht man zum Beispiel nur 0,033Cal.

In der Physik gebräuchlich ist auch der Ausdruck Wärmekapazität. Zugrunde liegt die Wärmestoffvorstellung: Jeder Körper kann nur eine bestimmte Menge Wärmefluidum aufnehmen.

Die Wärmemenge eines Körpers ist also gleich dem Produkt aus Menge der Materie, d.i. Masse des Körpers mal spezifischer Wärme. Diese Größe wird auch als Wasserwert des Körpers bezeichnet. Beim Wasser entspricht die Masse in kg direkt der Wärmemenge in Cal, da Wasser, wie vereinbart, die spezifische Wärme 1 hat.

Die Wärmeenergie

Jede Form der Energie ist physikalisch durch zwei Bestimmungstücke, durch zwei Parameter bestimmt, und zwar eindeutig. Eines dieser Bestimmungsstücke gibt die Menge der Energie, das andere Bestimmungsstück gibt die Intensität, die „Kraft", das Potential der Energie an. Das Produkt dieser beiden Größen, Menge mal Potential, Masse mal Fallhöhe etwa, ergibt die tatsächlich zur Verfügung stehende Energie. Der Vergleich mit den Wasserkraftmaschinen, den CARNOT in seiner Schrift: „Über die bewegende Kraft des Feuers" (1824) heranzieht, ist sehr treffend: Die mechanische Energie fallenden Wassers ist ge-

geben durch den Parameter für die Masse-Menge, eben durch das Gewicht des zur Verfügung stehenden Wassers (im oberen Reservoir), und durch den zweiten Parameter, die mögliche Fallhöhe, also die Höhendifferenz zwischen oberem Reservoir und unterem Wasserablauf. Erst das Produkt dieser beiden Größen, Gewicht des Wassers mal Fallhöhe, ergibt die mögliche Arbeitsleistung. Niemand würde auf den Gedanken kommen, die vorhandene Wassermenge einfach gleichzusetzen der zur Verfügung stehenden mechanischen Energie, ohne Rücksicht auf die in der Natur wirklich gegebene Fallhöhe.

Die mathematische Mechanik der Wärme

Mit diesen einfachen und einsichtigen Überlegungen bewegen wir uns noch ganz in den klaren Vorstellungen von Black. Der Begriff der Energie war ihm natürlich noch nicht geläufig. Im 19. Jahrhundert nahm dann die Wärmetheorie eine verhängnisvolle Entwicklung. Schon Graf Rumford hatte zur Erklärung seiner Versuche, mechanische Energie in Wärme umzuwandeln, wieder auf rein mechanische Vorstellungen zurückgegriffen: Die beim Bohren von Kanonenrohren entstehende Wärme ist eine nur umgeformte mechanische Kraft. Dieser Gedanke hatte eine alte Tradition, von den mathematischen Mechanikern eifrig gepflegt: Wärme ist nichts anderes als Bewegungsenergie elementarer Teilchen, der Moleküle.

Die vorsichtige, eng am Experiment bleibende Newtonsche Mechanik geriet bald als „höhere" Mechanik in die Hände der Mathematiker. Unbeschwert durch die Grenzen, die die physikalische Wirklichkeit der experimentellen Forschung setzt, wurden gedachte Dinge, ausdehnungslose Massenpunkte im gedachten, mathematischen Koordinatensystem bewegt. Es wurde vereinfacht und abstrahiert, bis eben die mathematische Technik hinreichend war, das erdachte Problem zu rechnen. Diese ganze Entwicklung brachte unsere schöne Wissenschaft von der wirklichen Natur

auf ein ausweglоses Nebengeleise. Ich verzichte darauf, diese Reihe glänzender Namen anzuführen.

In der Astronomie, und auch in der Atomphysik, ist wohl bekannt, daß der zentrale Stoß zweier frei bewegter Körper ein äußerst selten eintretender, höchst unwahrscheinlicher Zufall ist. Die gegeneinander „fallenden" Körper werden in Kegelschnitten abgelenkt, sie bewegen sich umeinander herum, wie die Planeten oder Kometen um die Sonne. Die Kegelschnitte sind hier mathematische Modelle für physikalische Kräfte, deren Summe oder Differenz (aus physikalischen Ursachen) konstant ist. Ein direkter Zusammenstoß wirklicher physikalischer Körper kann nie vollkommen elastisch sein, ohne bleibende Veränderungen an den stoßenden Körpern. Heute wissen wir aus experimenteller Beobachtung, daß die Elementarteichen, die Moleküle in unserem Fall, keine absolut harte, vollkommen elastische Oberfläche haben. So dachten sich das die Mathematiker, um mit diesen erdachten Dingen überhaupt rechnen zu können. Heute wissen wir, daß die Elementarteilchen auch keine eindeutig angebbare Größe haben. Die Größe ist von der Art der Messung abhängig, so wie z.B. kosmische Nebel in verschiedenen Spektralbereichen völlig verschiedene Formen und Größen zeigen.

In der Kernphysik wird die Trefferwahrscheinlichkeit korpuskularer Sonden mit steigender Geschwindigkeit immer geringer, der Wirkungsquerschnitt der beschossenen Teilchen immer kleiner. Aus der Sprache der Mathematiker ins Physikalische übersetzt: Im Gegensatz zu den Korpuskeln der mathematischen Theorie sind wirkliche physikalische Teilchen weder undurchdringlich, noch vollkommen elastisch. Sie setzen eindringenden Sonden verschiedenen Widerstand entgegen, je nach Dichte oder Konsistenz der getroffenen Teile. Mathematische Korpuskeln besitzen solche Differenziertheit nicht, der Rechnung wegen. Den Begriff Wirkungsquerschnitt hat schon um 1900 Lenard verwendet.

Die mathematische Physik hat die ganze Wärmetheorie auf diesen äußerst unwahrscheinlichen Stoß der Moleküle aufgebaut. Ich bezweifle, daß sich die Moleküle überhaupt im Verband, bei normalen Temperaturen und Dichten, nicht im Vakuum, in der errechneten Weise bewegen. Die Rechenaufgaben der höheren Mechanik werden, im statistischen Mittel, auf ein experimentell nicht verifizierbares Gebiet übertragen. Ganz wie bei Einsteins Einfällen hat die experimentelle Forschung nur die einzige Aufgabe, die sensationellen Konstruktionen der mathematischen Theorie zu bestätigen. Und das tut sie.

Die mechanische Wärmetheorie von Clausius

„Von selbst"

Wir haben festgestellt: Ein warmer Körper erwärmt einen kälteren, der kältere kühlt den wärmeren ab, bis beide Körper die gleiche Temperatur haben. Das allgemeinste Naturgesetz lautet: Potentialdifferenzen gleichen sich aus. Das gilt auch für die Wärme: Temperaturdifferenzen gleichen sich aus. Diese Feststellungen erscheinen uns selbstverständlich.

Nicht so der mathematische Theoretiker Clausius. Naiv und unkritisch behauptet er, daß warme Körper „von selbst" kalt werden. Im Gegensatz dazu werden aber kalte Körper nicht „von selbst" warm. Damit ein Körper wärmer wird, muß man ihm Wärme zuführen, also Arbeit leisten. Das weiß Clausius von den Versuchen Rumfords, der durch Bohren mit stumpfen Bohrern die Kanonenrohre erwärmt. Damit ein Körper kalt wird, ist kein Arbeitsaufwand nötig, die Abkühlung erfolgt „von selbst". Daß die Kühlhaltung von Bier im Sommer große Schwierigkeiten und hohe Kosten verursacht, daran dachte der große Theoretiker nicht. Schon 1810 hatte Leslie mit einer Luftpumpe, durch mechanische Arbeit also, Eis erzeugt. Auch das war Clausius sicher unbekannt. Ganz bedeutende Energien

werden heute aufgewendet für die Kühlung von Lebensmitteln, die eigentlich „von selbst" vor sich gehen sollte.

Clausius, der die Wärmestofftheorie widerlegen will, formuliert diese Geschichte von der freiwilligen Abkühlung auch so: „Wärme kann nicht von selbst aus einem kalten in einen warmen Körper übergehen." Das heißt: Das Fluidum Wärme kann wohl „von selbst" von einer höheren Temperatur zu einer niederen Temperatur herabfließen, aber nicht umgekehrt. Das Fluidum Wärme kann nicht „von selbst" von unten nach oben fließen.

Daß in der Natur nichts ohne Ursache geschieht, ohne Einwirkung einer Kraft und ohne Arbeitsleistung, das war im vorigen Jahrhundert allgemein anerkanntes Wissen der Physik. Nur für den mathematischen Theoretiker Clausius gibt es einen derartigen Vorgang: Wärme fließt „von selbst", ohne Einwirkung einer Kraft, ohne jede Arbeitsleistung von hohen Temperaturen nach unten. Eine Arbeitsleistung, der Einsatz einer physikalischen Kraft ist nur dann nötig, wenn man Wärme von unten nach oben bringt. Die Abkühlung erfolgt ohne physikalische Ursache. PLANCK spricht von einer „Vorliebe" der Natur.

Clausius behandelt mathematisch das abstrakte Fluidum Wärme, wie die Mathematiker in der höheren Mechanik das Abstraktum ausdehnungsloser Massepunkt mathematisch behandeln. Auf diesen Zusammenhang weist auch LAUE in seiner Geschichte der Physik hin: Der „Mathematiker G. J. Jakobi erkannte in ihnen (in den Rechnungen von Clausius) sogleich die legitime Fortsetzung der Gedankengänge jener Mathematiker des 18. Jahrhunderts an, welche die Mechanik durchgebildet hatten."

Der Vergleich mit den Wasserkraftmaschinen, wie ihn Carnot in seiner Schrift verwendet hatte, schafft hier sofort Klarheit. Das abstrakte Fluidum Wärme, mit dem Clausius rechnet, hat die sonderbare Eigenschaft, nur von oben, von hoher Temperatur, nach unten, zu niederer Temperatur

zu fallen, und zwar „von selbst". Der erste Teil dieser Behauptung ist an sich nicht unnatürlich: Auch Wasser hat die Eigenschaft, nur von oben nach unten zu fallen und nicht von unten nach oben. Niemand wird deshalb einen 2. Hauptsatz der Mechanik formulieren. Aber das Wasser fällt nicht „von selbst". Das Wasser fällt, da zwischen Wasser und Erde die Gravitation wirksam ist. Durch das Fallen des Wassers wird das mechanische Potential zwischen Wasser und Erde ausgeglichen. Die potentielle Energie des Wassers, wie wir einseitig sagen, ist die Ursache des Fallens. Diese potentielle Energie des Wassers, richtiger die mechanische potentielle Energie des Zweikörpersystems Erde - Wasser leistet Arbeit. Die potentielle Energie dieses Zweikörpersystems wird schließlich durch diese Arbeitsleistung gleich null, wenn das Wasser seinen (relativ) tiefsten Potentialpunkt erreicht hat. Mechanisch gibt es hier keinerlei Unklarheiten.

Um das Wasser wieder auf sein ursprüngliches Niveau zu heben, muß natürlich Arbeit geleistet werden. Die Größe dieser Arbeit ist gleich der beim Fallen gewonnenen Arbeit und schließlich gleich der potentiellen Energie des Wassers im oberen Wasserreservoir; richtiger: gleich der potentiellen Energie des Systems Wasser - Erde.

Niemand wird erwarten, daß Wasser „von selbst" nach oben fällt. Aber auch niemand wird behaupten, daß Wasser „von selbst" nach unten fällt. In der ganzen physikalischen Wirklichkeit geschieht nichts „von selbst", ohne physikalische Ursache, ohne Einwirkung einer physikalischen Energie. Für Clausius war das nicht selbstverständlich, für seine Nachfolger ist das nicht selbstverständlich. Clausius erweist sich als echter Schreibtischphysiker, der keinen Kontakt zur physikalischen Wirklichkeit hat. Er beobachtet falsch – oder überhaupt nicht: Körper kühlen sich von selbst ab. Wäre diese Behauptung richtig, dann wäre die ganze Kälteindustrie überflüssig. Clausius beherrscht aber

auch nicht die allgemeinen Grundgesetze seiner Wissenschaft. In der physikalischen Wirklichkeit geschieht überhaupt nichts „von selbst". Auch sein mathematisches Handwerk versteht er schlecht: Durch einen primitiven mathematischen Fehler, durch ein falsches Differential gewinnt er Arbeit aus einem Kreisprozeß. In seinen Schlüssen ist er unbedenklich und „kühn" wie Einstein. Ein sonderbares Ergebnis veranlaßt ihn nicht zu Überprüfung und Selbstkritik, ein sensationelles Ergebnis ist ihm hinreichender Grund, an seinen mathematischen Konstruktionen festzuhalten.

Was von Clausius gilt, kann wohl auch von seinen Nachfolgern gesagt werden. PLANCK schreibt: „So verfügt der Schöpfer einer Hypothese über schier unbegrenzte Möglichkeiten und Hilfsmittel, er ist so wenig auf die physiologische Leistung seiner Sinnesorgane angewiesen wie auf die Benutzung physikalischer Meßgeräte... Mit seinen geistigen Werkzeugen, seinen Instrumenten mit idealer Genauigkeit greift er in alle physikalischen Geschehnisse nach Belieben ein, um die verwegensten Gedankenexperimente auszuführen und aus deren Ergebnis weittragende Schlüsse zu ziehen." Eine so unbeherrschte Schwärmerei distanziert sich selbst von einer kritischen rationalen Naturwissenschaft.

Der 2. Hauptsatz

Die sonderbaren Vorstellungen von der Wärme, die Clausius an die Stelle der klaren Gedanken von Black und Carnot setzt, formuliert POINCARÉ so: „Es ist unmöglich, eine thermische Maschine mit einer einzigen Wärmequelle in Gang zu halten." Was will Poincaré? Poincaré denkt sich, ganz wie Clausius, einen großen Behälter, in dem das Fluidum Wärme enthalten ist. Welch ein Jammer, dieses Fluidum, wie es etwa in den Weltmeeren enthalten ist, läßt sich nicht einfach in mechanische Energie umwandeln. Ins Mechanische übertragen, wie dies auch Carnot

tut, heißt dies: Wir haben ein großes Wasserreservoir, einen See im Gebirge, oder gleich das Weltmeer. Wir können mit diesen Wassermassen keine Maschine betreiben, wenn wir kein Gefälle haben, wohin das Wasser abfließen kann. Niemand findet daran etwas Bemerkenswertes.

Poincaré denkt, mit Clausius, an eine Substanz „Wärme". Nach meiner energetischen Wärmetheorie, die mit den Vorstellungen von Black und Carnot übereinstimmt, müssen wir richtig formulieren: Eine Wärmemenge, ebenso wie eine Wassermenge an sich stellt noch keine Energie dar. Erst das Produkt Menge (Wärmemenge, Wassermenge) mal Potential (Temperaturdifferenz, Höhendifferenz) ist eine physikalisch wirkliche Energie. Eine „einzige Wärmequelle" ist daher noch keine Energie. Nach Black, Carnot und nach der energetischen Wärmetheorie ist auch das selbstverständlich.

Die gleiche Vorstellung vom Wärmefluidum hat auch KELVIN: „Man kann keine Maschine herstellen, die dadurch ständig am Laufen erhalten wird, daß sie die Wärmeenergie der Umgebung nutzbar macht." Das Fluidum Wärme soll auch hier in das Fluidum „mechanische Arbeit" umgewandelt werden. Wo keine Potentialdifferenz gegeben ist, ist auch bei der Wärme keine Energie gegeben. Das wissen weder Clausius, noch Kelvin, noch Poincaré.

Noch um eine Stufe primitiver ist schließlich die Formulierung, die PLANCK für die gleiche Geschichte erdacht hat: „Es ist unmöglich, eine periodisch funktionierende Maschine zu konstruieren, die weiter nichts bewirkt als Hebung einer Last und Abkühlung eines Wärmereservoirs." Hier ist der Kausalzusammenbang auf den Kopf gestellt: Die „Abkühlung eines Wärmereservoirs" ist nicht Ursache, sondern Wirkung einer funktionierenden Maschine. Ein weiterer Fortschritt, den Planck bringt, ist die Forderung, daß diese sonderbare Maschine periodisch, also nicht kontinuierlich „funktionieren" soll.

Auch bei Planck finden wir die primitive Vorstellung von Clausius, daß ein Körper „von selbst" das Fluidum Wärme abgibt, das man dann als mechanisches Arbeitsfluidum unten auffängt. Entgegen der Behauptung von Clausius fließt also das Wärmefluidum nicht von selbst aus den Körpern, sie werden nicht von selbst kälter. Die umständliche Formulierung mit den primitiven Bildern („Hebung einer Last") zeigt Planck nicht gerade als präzisen und abstrakten Denker; Planck will sich damit seinen Kollegen, den mathematischen Physikern verständlich machen.

Die Minderwertigkeit der Wärme

Dieses sonderbare Fluidum, das nur von oben nach unten fließt, hat überdies die wenig erfreuliche Eigenschaft, daß es sich nur mit großem Verlust umtauschen läßt. Kauft man Wärmefluidum, muß man den vollen Preis bezahlen, will man es wieder in mechanische Arbeit umwandeln, muß man hohe Verluste hinnehmen, 45% bis 90%, und darüber. Mechanische Arbeit kann man vollständig in thermische Energie umwandeln, das zeigten die Versuche von Rumford, Joule und vielen anderen. Will man aber Wärmeenergie in mechanische Energie umwandeln, so kann nach der Theorie von CLAUSIUS nur ein recht geringer Teil umgewandelt werden. Die Hauptmasse des Fluidums geht bei Wärmekraftmaschinen unverwandelt von der hohen Temperatur zur niederen über, „von selbst" natürlich, ohne Arbeit zu leisten.

Wieder ins Mechanische übertragen heißt das: Lassen wir 1000 Tonnen Wasser über ein Wasserrad fließen, so wird nur ein Teil des Wassers in mechanische Arbeit umgewandelt, der größere Teil des Fluidums fließt unverwandelt, ohne Arbeitsleistnng, in das untere Wasserbecken. Nehmen wir einen Wirkungsgrad von 30%, wie ihn gute Wärmekraftmaschinen heute erreichen, so werden 300 t Wasser in Arbeit verwandelt, 700 t Wasser fließen unten

unverwandelt ab. Welch wirklichkeitsfremde Konstruktionen! In der physikalischen Wirklichkeit bleibt selbstverständlich die Menge des Wassers, wie die Wärmemenge des Systems (sein Wasserwert) unverändert, allein die zuerst vorhandenen Potentiale, die Höhendifferenz beim Wasser, die Temperaturdifferenz bei den Wärmekraftmaschinen, haben sich ausgeglichen.

Hätte Clausius seine Theorie in dieser einfachen Form vorgetragen, hätten die mathematischen Theoretiker kaum Freude daran gefunden. Clausius aber beweist seine undurchdachten Konstruktionen in höchst origineller mathematischer Form. Carnot schon hatte für seine Überlegungen ein Medium arbeiten lassen und dann dieses Medium wieder in den ursprünglichen Zustand zurückgebracht. Er ging von der Feststellung aus, daß ein Perpetuum mobile auch thermisch, mit Wärmekraftmaschinen unmöglich ist. Die gewonnene Arbeit kann nicht größer sein als die zur Rückführung nötige. CLAPEYRON hat diesen Kreisprozeß in die heute übliche Form mit Adiabaten und Isothermen im Druck-Volumsdiagramm eines Gases gebracht. Für Clapeyron, das sei hier besonders hervorgehoben, war der energetische Zustand eines Gases eindeutig gegeben durch Druck, Volumen und Temperatur. Clapeyron verwendete, ebenso wie Carnot, selbstverständlich nur relative Temperaturdifferenzen. Die absolute Skala von Kelvin war noch nicht erfunden.

Clausius kannte nur die Arbeit von Clapeyron. In großer Bescheidenheit nannte er aber den von ihm völlig veränderten Kreisprozeß nach Carnot, dessen Arbeit er nicht gelesen hatte. Clausius führt also zwei Neuerungen ein:

1. Das Fluidum Wärme ist nicht mehr unzerstörbar wie das Wasser der Wasserräder (Carnot), sondern es wird — teilweise — in das Fluidum „mechanische Arbeit“ umgewandelt.

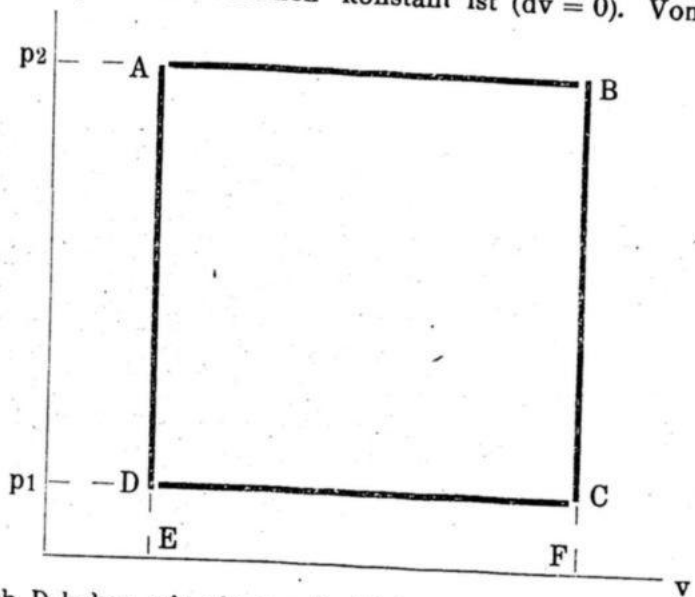
2. Clausius setzt in die Rechnungen von Carnot und Clapeyron die eben erfundenen absoluten Temperaturen ein.

Diese zweite Verbesserung war nicht minder verhängnisvoll als die erste. Jedenfalls ist jetzt durch Clausius jede Eindeutigkeit beseitigt. Der Energieinhalt eines Gases, die mögliche Arbeitsleistung ist nicht mehr durch die drei Größen: Druck, Volumen und Temperatur, eindeutig bestimmt, wie noch bei Clapeyron (dE ist ein vollständiges Differential), sondern der Energieinhalt wird sozusagen historisch bestimmt durch den Weg, auf den dieser Zustand des Gases erreicht wurde, oder verlassen wird.

Im pv-Diagramm hat demnach eine bestimmte Gasmenge bei gleichem Druck und gleicher Temperatur einmal viel Arbeitsfähigkeit, wenn sich ihre Zustandsgrößen (Temperatur, Druck, Volumen) in bestimmter Weise ändern, und einmal wenig Arbeitsfähigkeit, wenn sich diese Bestimmungsstücke in anderer Weise ändern. Man kann also den Ursprungszustand auf einem Weg verlassen, auf dem viel Arbeit gewonnen wird, und auf einem anderen Weg wieder zum Ursprungszustand zurückgehen, auf dem wenig Arbeit zu leisten ist. Die Differenz zwischen Hin- und Rückweg ist dann, nach Clausius, der Arbeitsgewinn, eben jener Anteil an Wärmefluidum, der in mechanische Arbeit umgewandelt wird. Die zur Rückführung in den Ursprungszustand benötigte Arbeit entspricht jenem größeren Teil des Wärmefluidums, der unverwandelt, „von selbst" und ohne Arbeitsleistung, von der hohen Temperatur zur niederen abfließt.

Der Trick, mit dem Clausius seinen Arbeitgewinn erzielt, wird am klarsten in einem Kreisprozeß, der aus Isochoren (konstantes Volumen) und Isobaren (konstanter Druck) besteht. Ein solcher Kreisprozeß gibt auch ein Maximum an „Arbeitsgewinn". Clausius übernimmt naiv und unkritisch aus der Mechanik die Formel für die Arbeit: A = Kraft mal Weg. Kraft ist der Druck p des Gases, Weg ist die Volumsänderung dv (Δv), die Verschiebung eines Kolbens in einem Zylinder: $A = p.dv$. Da Clausius nur in Formeln

denkt, wie jeder echte mathematische Physiker, übersieht er, daß die Kraft, der Druck des Gases nur im Spezialfall konstant ist, eben bei der Isobare. Clausius rechnet so, als ob die Druckänderung immer gleich null wäre. Das Arbeitsdifferential, die Änderung der Energie ist daher nach Clausius nicht $dE = p.dv + v.dp$, sondern unvollständig nur $dE = p.dv$. Gehen wir in unserem Diagramm von A nach B, so ist die geleistete Arbeit (Volumsvergrößerung) sehr groß, da der Druck groß ist (p_2). Bei der isochoren Verschiebung von B nach C ist, nach Clausius, die Arbeit $p.dv = 0$, da das Volumen konstant ist ($dv = 0$). Von C



nach D haben wir einen sehr kleinen Druck p_1. Die von außen zu leistende Arbeit (Volumsverkleinerung) ist daher sehr klein, entsprechend der Fläche CDEF. Von D nach A haben wir, nach Clausius, wieder die Arbeit 0, da keine Volumsänderung stattfindet ($dv = 0$). Die Arbeit ABFE wurde geleistet, die Arbeit DCFE mußte zur Rückführung in den Ursprungszustand aufgewendet werden. Die Differenz, die Arbeit ABCD ist der Reingewinn, nach Clausius.

Verwendet man die richtige, vollständige Formel $dE = p\,dv + v\,dp$, dann ist die geleistete Arbeit gleich der verbrauchten Arbeit, wie es bei einem Kreisprozeß nicht anders sein kann. Einen wissenschaftlichen heuristischen Wert haben Kreisprozesse nicht.

Selbstverständlich hat sich Clausius niemals in dieser Weise die physikalischen Eigenheiten seines Kreisprozesses klar gemacht. Er hat nie darüber nachgedacht, er hat gerechnet. Der Erfolg gab ihm recht. Seine mathematischen Kollegen dachten auch nicht, sie rechneten. Die Rechnungen von Clausius waren neu, sensationell und schön, wie man so sagt. Auch die Philosophen fanden die Folgen dieser schönen Theorie, Kältetod der Welt, Entropiezunahme und Minderwertigkeit der Wärmeenergie, sensationell. Nur ein paar Unbelehrbare, die nicht genug Respekt hatten vor den einfachen (und falschen) Differentialrechnungen der mechanischen Wärmetheorie, meldeten Bedenken an. Entscheidend war jedoch, so scheint mir, daß als Folge der gewaltigen Entdeckungen FARADAYs die Mathematiker in den Gleichungen MAXWELLs ein neues Tätigkeitsfeld fanden. Clausius ist seit Jahrzehnten nicht mehr modern.

Clausius hat seinen Kreisprozeß nicht mit den so übersichtlichen Isochoren und Isobaren gerechnet, sondern mit Isothermen und Adiabaten, d.h. mit Kurven gleicher Temperatur und mit Kurven, bei denen nach der Theorie die Wärme gleich bleiben soll, obwohl sich die Temperatur ändert. Das Verhalten der Gase bei gleichbleibender Temperatur (Isotherme) hatten 1662 BOYLE und 1679 MARIOTTE experimentell gemessen. Die Adiabate ist eine Konstruktion der mathematischen Theorie. Das Verhalten wirklicher Gase bei sehr schnellen Volumsänderungen liegt zwischen Isotherme und Adiabate. Die auftretenden Verluste durch Wirbelbildung stören das Gesetz von Boyle und Mariotte. Der Kreisprozeß von Clausius ist ein rein mathematischer Vorgang, der sich auch nicht annähernd

in die physikalische Wirklichkeit umsetzen läßt. Eine Kontrolle im Experiment ist ausgeschlossen.

Wie bei den Einsteinschen Theorien ist es kaum zu verstehen, daß große, ja selbst geniale Forscher wie Poincaré, Mach, Lenard, das Erlernte unkritisch und gläubig übernahmen und weitergaben. Wie bei der Einsteinschen Interpretation der Lorentztransformation ist es keine große Schwierigkeit, die wenigen Formeln zu erlernen, um sie bei einer Prüfung wiederzugeben. Als junger Student, mit 19 Jahren, habe ich zum ersten Mal diesen Kreisprozeß in den Vorlesungen gehört und nicht verstanden. Ich war so unbescheiden, die Schuld dieses Mangels nicht bei mir zu suchen.

Das unvollständige Differential p.dv

Wie schon gesagt hat Clausius die Formel für die mechanische Arbeit, die ein Gas bei Volumsvergrößerung leistet, ohne weitere Bedenken der Mechanik fester Körper entnommen. Die spätere Theorie ging einen anderen Weg. Der mechanische Energieinhalt eines Gases ist eine eindeutige Funktion von Druck, Volumen und Temperatur, wie schon Clapeyron wußte: $E = f(p, v, t)$. Halten wir die Temperatur konstant, dann ist die mechanische Energie des eingeschlossenen Gases eindeutig bestimmt durch das Produkt Druck mal Volumen: $E = p.v$. (Daß diese absoluten Größen der physikalischen Wirklichkeit nicht entsprechen, sehen wir später.) Die Änderung dieser Energie, die Änderung der Arbeitsfähigkeit und damit die geleistete oder verbrauchte Arbeit, ist nach dieser Theorie $dE = d(p.v)$. Das Differential dieses Produktes ist aber nach einer elementaren Regel der Differentialrechnung $dE = pdv + vdp$ (nach der in der Physik üblichen abgekürzten Schreibweise).

Hier gibt es zwei Sonderfälle. 1. Die Isochore, das Volumen ist konstant, $v = \text{const}$, $dv = 0$. In diesem Fall ist $dE = vdp$. 2. Der Druck ist konstant, $p = \text{const}$ oder $dp = 0$, daher ist $dE = p.dv$. Diese Differentiale sind in jedem

Lehrbuch nachzulesen. Im weiteren Verlauf fehlt dann aber das zweite Glied der Formel $dE = pdv + vdp$, und zurück bleibt die verstümmelte Hälfte $dE = pdv$, Arbeit ist gleich Druck mal Volumsänderung. Das aber ist eben jene Formel, Arbeit = Kraft . Weg, die Clausius unkritisch aus der Mechanik fester Körper übernommen hat. Wenn ein Schüler bei einer Schularbeit $d(pv) = pdv$ differenziert statt richtig $d(p.v) = v.dp + p.dv$, fällt er durch. Seit über 120 Jahren ist aber die unvollständige und falsche Formel von Clausius in der mathematischen Theorie üblich. Der unerschütterliche Glaube an die Unfehlbarkeit der mathematischen Methode ist eine Schande für denkende Menschen.

Die Druckänderung

In der mechanischen Theorie der Wärme gibt es keine Druckänderungen, oder genauer, eine Druckänderung eines eingeschlossenen Gases bewirkt in der mathematischen Wärmetheorie keine Änderung seines mechanischen Energieinhalts. Die mathematische Theorie verliert das Glied mit der Druckänderung v.dp. Diese Theorie wurde von engen Spezialisten entwickelt und weitergegeben, die offensichtlich von den Wirkungen des Gasdruckes und von der technischen Verwendung des Luftdrucks nichts gehört haben. Aus Sicherheitsgründen wurden in Bergwerken alle Maschinen mit Druckluft angetrieben. Der pneumatische Antrieb erobert immer neue Bereiche im Maschinenbau. Nach der mechanischen Wärmetheorie ist aber die mechanische Energie eines Gases völlig unabhängig von Druckänderungen. Wird in irgendeiner Weise der Druck eines Gases, das in einem festen Gefäß eingeschlossen ist, von 1at auf 100at erhöht, so bedeutet das nach Clausius keine mechanische Arbeitsleistung, da die Volumsänderung $dv = 0$ und damit die Energieänderung $dE = pdv = 0$ ist. Das Gas von 1at hätte also nach dieser exakten mathematischen Theorie die gleiche mechanische Energie wie ein Gas mit gleichem Volumen, aber mit 100at Druck.

Anderseits darf man auch nicht das vollständige Differential $dE = pdv + vdp$ anwenden, denn dann wird z.B. die Arbeitsleistung eines Gases bei isothermer Verschiebung gleich null. Für die Isotherme gilt $p.v = \text{const}$, $t = \text{const}$. Daher ist $d(p.v) = 0$. $d(p.v)$ ist aber gleich dE; oder $dE = v.dp + p.dv = 0$, da $p.dv = -v.dp$. Die Isotherme ist eine Hyperbel.

Das vollständige Differential führt weiter dazu, daß jeder Kreisprozeß, sowohl der von Clapeyron - Clausius mit Isothermen und Adiabaten wie der von mir vorgeschlagene Isochoren-Isobarenkreis, den Wirkungsgrad null hat, d.h., die geleistete Arbeit ist gleich der zur Rückführung in den Urprungszustand benötigten Arbeit. Nach dem Energiesatz kann es nicht anders sein. Von dieser Voraussetzung war auch Carnot bei seinen Überlegungen ausgegangen. Es paßt zu den sonderbaren Kuriositäten dieser Theorie, daß Clausius aus dem Kreisprozeß von Carnot gerade das Gegenteil beweisen will, daß man nämlich bei einem Kreisprozeß einen Gewinn erzielen kann. Clausius verkauft Arbeit bei hohem Kurs, bei hohem Druck, und kauft sie bei nieniederem Kurs, bei niederem Druck. Solche Tricks kann es nur in der mathematischen Theorie geben, nicht in der physikalischen Wirklichkeit.

Sehen wir von der physikalischen Irrealität dieser mathematischen Theorie ab, so bleibt der schwere mathematische Fehler, der Verlust des halben Differentials v.dp. Selbstverständlich ist dieser Umstand einzelnen Theoretikern aufgefallen; nicht alle finden diese Tatsache bemerkenswert. Poincaré und Mache zum Beispiel, aber auch Ernst Mach, entwickeln komplizierte philosophische Gedanken, welche Folgen dieses unvollständige Differential hat und haben muß. Niemand jedoch wagt es, danach zu fragen, ob denn der Verlust des halben Differentials physikalisch notwendig und begründet ist.

Selbstverständlich kann ein schwerer Fehler, das unvollständige Differential, nicht ohne Folgen für das ganze Lehrgebäude bleiben. Der eine Fehler muß durch immer neue Fehler berichtigt werden, um die Lehre doch einigermaßen mit der experimentellen Wirklichkeit in Übereinstimmung zu bringen. Beim Glanzstück der ganzen Theorie, beim Kreisprozeß von Clausius ist solches nicht nötig, da eine experimentelle Überprüfung von vornherein ausgeschlossen war: Die schöne Rechnung ist reine mathematische Spekulation.

Ein anderes Gedankenexperiment (mit denen die Theorie so großzügig und erfolgreich hantiert, wie uns Planck belehrt,) ist das Gedankenexperiment von Julius Robert v. Mayer. Mayer war Arzt, mehr Philosoph als Physiker und ganz gewiß kein Mathematiker. Mayer hatte bei einer Reise in die Tropen gesehen, daß in den heißen Zonen das venöse Blut nahezu so hell ist wie das arterielle. Er schloß daraus, daß in heißen Gebieten weniger Sauerstoff verbraucht wird als bei uns, um die Körpertemperatur zu erhalten. Chemische Energie, Wärmeenergie, elektrische und mechanische Energie sind verschiedene Formen der Energie, ineinander umwandelbar, das war seine Überzeugung. Zu dieser Zeit war durch experimentelle Messung bereits das Verhältnis von mechanischer Arbeit und Wärme annähernd festgestelt. Mayer wollte auch die umgekehrte Umsetzung, Wärme leistet mechanische Arbeit, durch Zahlen belegen.

Was Mayer in seinem Gedankenexperiment an Physikalischem vorbringt, ist eben erworbener Besitz der gleichzeitigen Theorie. Die einfachen und klaren Vorstellungen von Black genügten den Physikern nicht, man wollte vielmehr in der Wärmekapazität, in der spezifischen Wärme und in einer gesuchten Änderung der spezifischen Wärme das eigentliche Wesen der Wärme finden. Auch die

spezifische Wärme des Vakuums und des Äthers wollte man messen, um so direkt das Wärmefluidum in die Hand zu bekommen. Mit solchen Überlegungen wollte auch Rumford die Wärmestofftheorie widerlegen. Er untersuchte die spezifische Wärme der Bohrspäne seiner Kanonenrohre. Nach Rumford ist Wärme, wie schon gesagt, ungeordnete Bewegung der materiellen Elementarteilchen.

Zahlreiche Experimentatoren hatten nachgewiesen, daß die spezifische Wärme der Luft verschieden ist je nachdem, ob man die Luft bei konstantem Volumen, in einem fest verschlossenen Gefäß erwärmt, oder bei konstantem Druck; die Luft wird zum Beispiel durch eine gleichbleibende Quecksilbersäule abgeschlossen, das Volumen der Luft wird größer. Die spezifische Wärme der Luft ist im zweiten Fall, bei konstantem Druck größer als bei gleichbleibendem Volumen.

Nach Clausius ist die von der eingeschlossenen Luft geleistete Arbeit, wenn sie sich bei der Erwärmung ausdehnt, gleich Druck mal Volumsänderung. Die Quecksilbersäule oder der abschließende Kolben werden gehoben. Wir können dem Arzt Mayer gewiß keinen Vorwurf daraus machen, daß er die Arbeit in dieser Weise berechnet, wenn 50 Jahre später der große mathematische Theoretiker Planck für die mechanische Arbeit auch keine andere Definition findet als „Hebung einer Last".

Mayer nimmt also, in Gedanken, ein Kilogramm Luft von Atmosphärendruck und 0°C, und erwärmt diese Luft um 1°. Die Luft befindet sich in einem Zylinder von $1 m^2$ Querschnitt. 1 Kilo Luft sind 773 Liter, bei Atmosphärendruck und 0°. Der abschließende Kolben befindet sich also in dem Zylinder (mit $1 m^2$ Querschnitt) in einer Höhe von 773 mm. Das Volumen der Luft bei 0°C vergrößert sich bei Erwärmung um 1 Grad um 1/273 seines Volumens (Gay-Lussac). Das ergibt eine Verschiebung um 2,8 mm. Bei dieser Verschiebung hebt der Kolben die Last, nämlich den

auf dem Kolben lastenden Luftdruck von 1 at. Die Kolbenoberfläche beträgt 100 cm . 100 cm = 10000 cm^2, die gesamte Last daher 10000 at = 10333 kp. Daraus errechnet sich leicht die geleistete Arbeit zu 28,9 mkg.

Um die Luft bei konstantem Volumen um 1° zu erwärmen, braucht man 0,168 Cal, für die Erwärmung bei konstantem Druck (in unserem Fall bei Atmosphärendruck) braucht man 0,237 Cal, also um 0,069 Cal mehr als bei konstantem Volumen, wenn sich der abschließende Kolben nicht gegen den äußeren Luftdruck verschiebt. Diese Differenz von 0,069 Cal setzt Mayer der errechneten Arbeit von 28,9 mkg gleich. Mit den Werten, die Mayer zur Verfügung standen (1842), erhielt er 367 mkg für eine Kalorie. Das mechanische Wärmeäquivalent beträgt nach experimentellen Messungen 427 mkg.

Das Gedankenexperiment von Mayer gilt als beonders geniale Leistung, die in keinem Lehrbuch der Physik fehlt. Heute wird die Rechnung gewöhnlich nicht für 1 kg Luft durchgeführt, sondern für 1 Mol eines Gases.

Das mechanische Wärmeäquivalent bei Carnot 1824

Historisch höchst bemerkenswert, aber dem Fachmann völlig unbekannt ist die Tatsache, daß bereits Carnot in seiner so hoch gerühmten Schrift, 18 Jahre vor Mayer, in der gleichen Absicht den gleichen Versuch berechnet. Auch Carnot erwärmt 1 kg Luft von 0°C um 1° bezw. um 1/1000°. Unrichtige Meßdaten, die er seinen Rechnungen zugrunde legt, und eine falsche Theorie über die Abkühlung der Luft bei Expansion nehmen Carnots Rechnungen jeden physikalischen Wert. Carnots Rechnung hat dennoch einen entscheidenden Vorzug gegen Mayer. Carnot berechnet die mechanische Arbeit, die die Luft bei der Erwärmung leistet, wenn sie sich gegen den äußeren Luftdruck ausdehnt, im Prinzip richtig.

Der Kreisprozeß von Clausius entzieht sich von vornherein jeder experimentellen Überprüfung. Im Gegensatz dazu

ist Mayers Gedankenexperiment derart einfach, daß es jeder Schüler mit den elementarsten Mitteln in Wirklichkeit, nicht in Gedanken, durchführen kann. Doch Mayers Gedankengang scheint so selbstverständlich, daß jede Überprüfung im Experiment überflüssig erscheint. Das Verhängnis liegt darin, daß hier experimentelle Wirklichkeit und theoretischer Schluß eng miteinander vermischt sind. Die Differenz der spezifischen Wärmen (0,069 Cal) bei konstantem Druck und bei konstantem Volumen ist experimentelle Tatsache. Dieser Mehrbedarf an Wärme bei konstantem Druck soll für die mechanische Arbeitsleistung bei der Volumsvergrößerung verbraucht werden. Das ist Forderung einer falschen Theorie, die Druckänderungen völlig außer acht läßt: Auch bei Wärmezufuhr bei konstantem Volumen wird durch die zugeführte Wärme mechanische Arbeit geleistet: Die potentielle (mechanische) Energie der eingeschlossenen Luft, eben ihr Druck wird erhöht. Damit hängt unmittelbar der zweite Fehler von Mayers Rechnung zusammen, den Carnot nicht macht: Die mechanische Arbeit gegen den Außendruck wird nicht ganz allein von der zugeführten Wärme geleistet, sondern im Gegenteil zum überwiegenden Teil durch die potentielle mechanische Energie der eingeschlossenen Luft; durch ihre „elastische Kraft", wie Carnot sagt. Die eingeschlossene Luft hat Atmosphärendruck, nach Mayers Annahme.

Mayers Gedankenexperiment in der experimentellen Wirklichkeit

Mayer kombiniert also experimentelle Daten mit Postulaten der Theorie. Sein annähernd richtiges Resultat bestätigt die Theorie. Da gibt es kein Zögern: Die richtige Theorie beweist die richtige Rechnung und die richtige Rechnung beweist die richtige Theorie. Da ist Denken nur verwirrend. Allein Fakten zählen, will sagen: Allein Zahlen entscheiden. Wenn die Uhren nachgehen, wird dadurch Einsteins Theorie neuerlich bewiesen, und wenn die Uhren

vorgehen, ist Einsteins Theorie neuerlich bewiesen. Bei Beweisen für die Richtigkeit richtiger mathematischer Theorien ist man nicht kleinlich. Meyers richtige Rechnung steht in voller Übereinstimmung mit der richtigen mathematischen Theorie. Dennoch habe ich einen Kasten gebaut, 1/3 der Größe von Mayers gedachtem Apparat; nicht um Mayers Gedanken nachzuprüfen, sondern nur, um durch primitivsten Augenschein den Fachmann zu überzeugen. Denn meine Argumentation: Wärmeenergie ist Wärmemenge mal Temperaturdifferenz, scheint den mathematischen Theoretikern, die mit Begriffen wie „Hebung einer Last" operieren, nicht unmittelbar verständlich.

Der Kolben meines Kastens hat eine Oberfäche von etwa 1000cm², es lastet also darauf der äußere Luftdruck mit mehr als 1000 kp. Diese Last wird nach der mechanischen Wärmetheorie durch die zugeführte Wärme gehoben. Kaum zu glauben: Auch ich bin mit Leichtigkeit imstande, den Kolben mit den darauf lastenden 1000 kp zu heben. Die „elastische Kraft" der eingeschlossenen Luft hilft mir. Auf Mayers gedachten Kolben drücken nicht nur von oben 10333 kp, sondern auch von unten, denn auch auf der Unterseite des Kolben, im Innern des Zylinders herrscht Atmosphärendruck. Hebt man den Kolben, dann ist zum Beginn der Bewegung der Druck auf beiden Seiten des Kolbens gleich groß. Erst allmählich nimmt der Druck der eingeschlossenen Luft ab, entsprechend der Volumszunahme, nach dem Gesetz von Boyle und Mariotte.

Bei Mayers Gedankenexperiment wird Luft von 0° um 1° erwärmt, ihr Volumen nimmt nach Gay-Lussac um 1/273 zu, bei gleichbleibendem Druck. Vergrößert man das Volumen der eingeschlossenen Luft mechanisch um 1/273, durch Heben des Kolbens um 2,8 mm, dann sinkt der Innendruck um 1/273, das sind 37,8 kp. Beim Heben des Kolbens haben wir also zum Beginn der Bewegung die Druckdifferenz null, am Ende der Bewegung (2,8 mm) aber im

Zylinder einen Unterdruck von 37,8kp. Der Außendruck von 10333kp bleibt natürlich gleich. Nehmen wir als Mittel des Druckunterschieds 19kp über den Weg von 2,8mm, so ergeben sich als tatsächlich geleistete mechanische Arbeit 0,043mkg. Nach Mayer ergeben sich 29mkg. In dieser Weise läßt sich das mechanische Wärmeäquivalent nicht errechnen.

Höchst erstaunlich ist, wie gesagt, daß Carnot diesen Fehler nicht macht, er berücksichtigt in seiner Rechnung korrekt die „elastische Kraft" der eingeschlossenen Luft, also den Gegendruck auf der Unterseite des Kolbens. Mayer und seine Nachfolger rechnen so, als ob auf der Unterseite des Kolbens absolutes Vakuum herrschte, als ob die eingeschlossene Luft von Atmosphärendruck den Druck null hätte.

Der Arzt Robert v. MAYER und mit ihm Generationen von mathematischen Theoretikern berechnen die mechanische Arbeit **falsch:**

Arbeit = Kolbenverschiebung mal Außendruck

Der Techniker Sadi CARNOT berechnet die Arbeitsleistung **richtig:**

Arbeit = Kolbenverschiebung mal Druckdifferenz

Diese Formel war ihm von den Dampfmaschinen her bekannt und geläufig.

Kaum glaublich ist auch, daß der große Energetiker W. OSTWALD Carnots Schrift übersetzt und herausgegeben hat ohne zu bemerken, daß Carnot diese mechanische Arbeit anders berechnete als Mayer, und zwar richtig.

Mayer und der Wirkungsgrad

Carnot wollte nachweisen, daß im Idealfall die Arbeit, die eine Wärmekraftmaschine leisten kann, allein abhängt von der zur Verfügung stehenden Wärmemenge und von der Höhe des „Temperaturfalles". Er ging dabei von der Unmöglichkeit eines Perpetuum mobile aus, in komplizierter

Weise durch reductio ad absurdum. Durch keinerlei Vorrichtung ist es möglich, mehr Arbeit zu gewinnen, als zur Wiederherstellung des ursprünglichen Zustandes nötig ist. Ein Kreisprozeß hat im Idealfall den Effekt null, ganz allgemein ist aber die verbrauchte Energie größer als die gewonnene. Nur Clausius gelang es, durch eine schöne Rechnung in einem Kreisprozeß Arbeit zu gewinnen.

Nach Carnot ist die von einer Wärmekraftmaschine geleistete Arbeit umso größer, je höher die obere Temperatur und je niedriger die untere Temperatur liegt. Das ist an sich aus der Analogie zu den Wasserkraftmaschinen durchaus selbstverständlich: Je höher der Temperaturfall (oder der Wasserfall), desto größer die Arbeitsleistung. Diese Arbeitsleistung wird kleiner, wenn wir aus irgendeinem Grund nicht die ganze Fallhöhe ausnützen können. Ist die ganze Fallhöhe h_2 100 m, und steht die Mühle mit dem Wasserrad in halber Höhe $h_1 = 50$ m, dann haben wir selbstverständlich nur die Hälfte der möglichen Arbeitsleistung. Der Wirkungsgrad $\eta = (h_2 - h_1)/h_2$. Diese Relation ist elementar und unmittelbar einsichtig, niemand wird darüber lange philosophieren.

Nach CARNOT gelten für den Temperaturfall ganz die gleichen Relationen wie beim Wasserfall. Der Wirkungsgrad $\eta = (t_2 - t_1)/t_2$. Kochendes Wasser hat im Sommer bei 30° ein mögliches Temperaturgefälle von 70°, im Winter bei $-30°$ einen potentiellen Temperaturfall von 130°. Auch das ist unmittelbar einsichtig und für mathematische Theoretiker gewiß uninteressant.

Ganz anders wurde das alles, als CLAUSIUS in die einfachen Überlegungen Carnots die absoluten Temperaturen Kelvins einführte. Von da ab hatte kochendes Wasser im Sommer wie im Winter den gleichen möglichen Temperaturfall von 373°, dies allerdings nur in der mathematischen Theorie, nicht in der physikalischen Wirklichkeit. Carnots Vergleich mit den Wasserkraftmaschinen zeigt sofort die

völlige Irrealität dieser mathematischen Konstruktion. Nehmen wir wieder unseren Wasserfall von 100 m. Die Turbine steht in halber Höhe, 50 m über dem Abfluß des Wasserfalls. Nach der Formel Carnots erreichen wir optimal einen Wirkungsgrad von 0,5, also 50%. Es ist selbstverständlich, daß man die Höhen in der Formel nicht auf irgend einen beliebigen konstruierten Nullpunkt beziehen kann, etwa auf das Meeresniveau oder auf den Erdmittelpunkt. Die Fallhöhe des Wassers ist eben durch die Lage, durch die Umgebung des Wasserfalls gegeben. Ist der Wasserfall im Gebirge in 1000 m Seehöhe, so sinkt der Wirkungsgrad unserer Turbine von 50% auf 4,5% allein dadurch, daß wir in die Formel „absolute" Höhen einsetzen: (1100m – 1050m)/1100m = 0,045. Gerade in dieser Weise, durch Einführung „absoluter" Temperaturen statt relativer Temperaturdifferenzen hat Clausius Carnot verbessert.

Unser Wasser fällt aber nur 100 m über den Wasserfall und nicht 1100 m bis zum Meeresniveau. Kochendes Wasser kann nur bis zur Temperatur der Umgebung abkühlen und nicht bis zum Nullpunkt der Kelvinskala. Nach der energetischen Temperaturskala ist dies minus unendlich. Clausius stellt dem Wirkungsgrad technischer Maschinen eine (falsche) mathematische Konstruktion gegenüber.

Durch die absoluten Temperaturen wird das Nullniveau aus der physikalischen und technischen Wirklichkeit an das Ende einer Temperaturskala gelegt, das nur der mathematischen Theorie erreichbar ist. Nach Clausius müßten sich alle Körper bis zu diesem Nullpunkt „von selbst" abkühlen. Ganz allgemein sind wir mit allen Wärmekraftmaschinen um etwa 300° von diesem theoretischen Nullpunkt entfernt. Den Wirkungsgrad 1, eine Wärmekraftmaschine, bei der die untere Arbeitstemperatur mit dem Nullpunkt Kelvins zusammenfällt, kann es nur in der mathematischen Theorie geben. Alle technischen Maschinen wären also umso weiter vom idealen Wirkungsgrad 1 entfernt, je weiter

ihre Arbeitstemperaturen vom absoluten Nullpunkt entfernt liegen. In der Formel von Clausius $\eta = (T_2 - T_1)/T_2$ kann T_1 nie gleich null werden und der Wirkungsgrad nie den Wert 1 erreichen.

An sich widerspricht eine solche Theorie dem gesunden Menschenverstand und jeder Erfahrung. Niemand erwartet einen Wirkungsgrad 1. Nichts ist vollkommen in dieser Welt. Aber warum sollen wir nicht einen Wirkungsgrad 0,8 oder 0,9 erreichen wie bei mechanischen oder elektromagnetischen Maschinen?

Arbeitsleistung und Wirkungsgrad

Die Erfahrung in der Technik schien die Theorie zu bestätigen. Zu Carnots Zeiten hatten die Dampfmaschinen einen Wirkungsgrad von 3% – 5%, am Ende des vorigen Jahrhunderts wurden 15% erreicht. Diese Werte lagen noch weit unter den Angaben der Clausiusschen Formel. Heute erreichen große Dieselmotoren oder Dampfturbinen bis zu 45%. Diese Verbesserungen wurden durch Erhöhung der Temperaturen erzielt, was die Theorie zu bestätigen schien. Allerdings ist der Zusammenhang nicht so einfach. Der Benzinmotor etwa, der mit Temperaturen über 1000° arbeitet, erreicht kaum 15% – 20%, die Dampfturbine, die den Dampf nur auf 400° – 500° erhitzt, hat mehr als den doppelten Wirkungsgrad.

Überdies ist dadurch noch nicht für Clausius, mit absoluten Temperaturen, gegen Carnot, mit relativen Temperaturen, entschieden. Daß eine Vergrößerung des „Temperaturfalles“ im allgemeinen eine Vergrößerung der Arbeitsleistung mit sich bringt, war Carnot auch ohne mechanische Wärmetheorie selbstverständlich. Der Wirkungsgrad einer Maschine wird dagegen nicht durch die Höhe des Potentialfalls an sich bestimmt, sondern durch das Verhältnis: ausgewertete Fallhöhe durch gesamte auswertbare Fallhöhe. Wasserturbinen für geringe Fallhöhe haben den gleichen hohen Wirkungsgrad wie Turbinen für hohes

Gefälle. Wenn der Wirkungsgrad unserer Wärmekraftmaschinen weit unter den Idealwerten der Theorie bleibt, so ist das noch kein Beweis für die Richtigkeit der Theorie; es ist auch kein Beweis für die Minderwertigkeit der Wärme. Das ist vielmehr ein Beweis, daß diese Maschinen schlecht sind.

Der Wirkungsgrad von Mayers Experiment

Gerade Mayers Gedankenexperiment würde, wenn seine Rechnung richtig wäre, die schöne Formel von Clausius widerlegen. Setzt man nicht die Differenz der beiden spezifischen Wärmen (c_p bei konstantem Druck, c_v bei konstantem Volumen) der geleisteten Arbeit gleich, sondern die gesamte zugeführte Wärme $c_p = 0{,}237$ Cal, dann erhält man den Wirkungsgrad des Mayerexperiments, nämlich 29%. $c_p - c_v = 0{,}069$ Cal sind 29% der gesamten zugeführten Wärme von 0,237 Cal. Das ist an sich nicht überwältigend. Setzt man aber in die falsche Formel von Clausius die Temperaturen 273°K und 274°K ein, so erhält man einen Wirkungsgrad von 0,36%. Mayer setzt also achtzigmal mehr Wärme in mechanische Energie um als es nach der Theorie von Clausius im Idealfall erlaubt ist.

Diesen Widerspruch habe ich 1935 dem weltbekannten Dampfturbinenbauer Prof. Franz LÖSEL an der TH Wien vorgetragen. Natürlich hielt er mein Rechenergebnis zuerst für ausgeschlossen. Dann, nach Überprüfung der einfachen Rechnung und nach einigem Nachdenken mußte er mir zugeben, daß eine solche Maschine, nach Mayers Gedankenexperiment, auch technisch möglich sei. Ich hatte ihn also davon überzeugt, daß die Formel für den Wirkungsgrad von Clausius, mit absoluten Temperaturen, falsch ist. Das hat LÖSEL dann selbst technisch durch sein revolutionäres Dampfturbinentriebwerk bewiesen (1943).

Leider mußte ich jedoch in den letzten Jahren feststellen, daß nicht nur die Formel von Clausius falsch ist, sondern auch die Berechnung der mechanischen Arbeit

durch Mayer. Der schöne Beweis, den ich Prof. Lösel vorgetragen hatte, verlor dadurch seine Überzeugungskraft. Dadurch wird allerdings die Formel von Clausius nicht richtig.

Das pv-Diagramm

Das Druck-Volumen-Diagramm wurde von Clapeyron in die Wärmetheorie eingeführt. Im pv-Diagramm soll der Zustand eines Gases anschaulich dargestellt werden. Die Hauptschwierigkeit in diesen schönen Kurven liegt darin, daß der Zustand eines Gases von drei Größen bestimmt wird, nicht nur von Druck und Volumen, sondern auch von der Temperatur. Man müßte also statt des zweidimensionalen pv-Diagramms ein räumliches, dreidimensionales Koordinatensystem anwenden. Graphisch wäre dies nur mit größten Schwierigkeiten darstellbar. Vor allem stellt eine dreidimensionale Mannigfalt außerordentlich hohe Anforderungen an unser Vorstellungsvermögen.

Zum Glück sind diese Schwierigkeiten nicht unüberwindbar, denn die drei Variablen Druck, Volumen und Temperatur (p, v, t) sind in der physikalischen Wirklichkeit nicht völlig unabhängig von einander. Nach Boyle und Mariotte ist bei gleichbleibender Temperatur das Produkt p.v konstant, und nach Gay-Lussac ist dieses Produkt eine eindeutige Funktion der Temperatur. Man zeichnet also in das pv-Diagramm eine Schar von Hyperbeln, die Punkte gleicher Temperatur miteinander verbinden. Man kann dann dem pv-Diagramm nicht nur Druck und Volumen entnehmen, sondern auch die jeweils dazugehörige Temperatur.

Die Isotherme beim Einzelkörper der mathematischen Theorie

Um unsere Aufgabe zu vereinfachen, halten wir zunächst bei den Zustandsänderungen eines Gases die Temperatur fest. Der Zustand des Gases, die beiden Größen p und v verändern sich also im pv-Diagramm längs Hyperbeln:

p.v = const. Setzen wir den mechanischen Energieinhalt eines eingeschlossenen Gases gleich dem Produkt Druck mal Volumen E = p.v, so hat ein Gas von hohem Druck und kleinem Volumen den gleichen Energieinhalt wie die gleiche Gasmenge bei niederem Druck und entsprechend großem Volumen — wenn nur das Produkt p.v in beiden Fällen gleich groß ist. So hätte etwa 1 m^3 Luft von 2at Druck die gleiche mechanische Energie wie 2 m^3 Luft mit 1at Druck. Hier wird schon die Problematik der abstrakten mathematischen Theorie deutlich. Luft von Atmospährendruck hat in der physikalischen Wirklichkeit, in der natürlichen Umgebung überhaupt keine mechanische Energie. Diese Luft kann in ihrer Umgebung keine physikalischen Veränderungen hervorrufen. Luft mit 2at Druck stellt dagegen ohne Zweifel eine potentielle mechanische Energie dar. Durch den Überdruck gegen die Umgebung wird die eingeschlossene Luft, wenn sie Reaktionsmöglichkeiten mit der Umgebung hat, physikalische Veränderungen verursachen.

Wir kommen zurück auf das Grundgesetz der Physik. Ein Einzelkörper für sich hat überhaupt keinerlei Energie. Ein Einzelkörper verändert sich nicht. Erst wenn ein zweiter physikalischer Körper hinzukommt, der gegen den ersten irgendeine Potentialdifferenz aufweist, erst dann ist Energie vorhanden, erst dann kann etwas Physikalisches geschehen. Nicht „von selbst“: Jede physikalische Veränderung wird durch eine Potentialdifferenz zwischen zwei Körpern verursacht.

Auch Luft mit 2at hat für sich keine physikalisch definierbare Energie. In einer Umgebung mit 2at Druck ist ihre (mechanische) Energie gleich null. In einer Umgebung mit höherem Druck wäre ihre Energie nach der Theorie negativ, da das Volumen der eingeschlossenen Luft infolge des höheren Außendruckes kleiner wird. Nach der mechanischen Wärmetheorie ist jede Volumsvergrößerung mit

einer Arbeitsleistung des Gases verbunden, jede Verkleinerung wird durch Arbeitsleistung von außen bewirkt. Vom Gas wird Arbeit verbraucht, ohne Rücksicht auf die tatsächlich gegebene Druckrelation zur Umwelt.

Die absoluten Werte der mathematischen Theorie

Die absolute Temperaturskala von Kelvin, der absolute Nullpunkt der Temperatur, auf den der Wirkungsgrad technischer Maschinen bezogen werden soll, und der absolute Druck der Kreisprozesse, all das sind eigentlich nicht Besonderheiten der Wärmetheorie. Absolute Werte gelten durchwegs in der höheren Mechanik. Die mechanische Wärmetheorie ist ein Teil, ein Spezialfall dieser mathematischen Theorien.

Galilei und Newton führten ihre Rechnungen noch in engem Anschluß an tatsächlich ausgeführte Experimente durch. Die rollende Kugel wird durch die Erde in Bewegung gesetzt, eine Kugel stößt gegen die andere, durch die Gravitation zwischen Erde und Mond (und durch seine tangentiale Bewegung) wird der Mond in seiner Bahn gehalten.

Die höhere Mechanik hat diese unmittelbaren Zusammenhänge durch Vereinfachung und Abstraktion verloren; dadurch wurde sie für den Rechner handlich. Der ausdehnungslose Massenpunkt wird in einem gedachten Bezugssystem aus der Ruhe ($v = 0$) durch eine gedachte Kraft auf die Geschwindigkeit v gebracht. Er erreicht damit die errechnete Bewegungsgröße m.v. Wird jetzt das Bezugssystem gegen die Bewegungsrichtung des Körpers mit der Geschwindigkeit w bewegt, so hat der Massenpunkt die Geschwindigkeit $v + w$ und die Bewegungsgröße $m.(v + w)$, ohne daß eine Kraft auf ihn einwirkte. Die Bewegung zwischen Bezugssystem und bewegtem Massenpunkt ist vertauschbar, ich kann das Bezugssystem als ruhend betrachten, oder ich kann den bewegten Punkt als ruhend festhalten, das Bezugssystem aber als bewegt ansehen. Durch die geänderte Betrachtung wird nicht nur die Geschwin-

digkeit, sondern auch die Bewegungsgröße des Massenpunktes gleich null.

In der physikalischen Wirklichkeit, in Experiment und Beobachtung, sind diese Größen unserer Willkür entzogen. Ein Einzelkörper für sich hat überhaupt keine physikalische Geschwindigkeit. Die Geschwindigkeiten in gedachten Bezugssystemen sind keine wirklichen physikalischen Geschindigkeiten, sondern nur gedachte Geschwindigkeiten. Auf diese Weise kann ich, wie uns die Relativisten einreden, die Erde als ruhend „betrachten", die Sonne als bewegt. Im mathematischen Modell. Auf dem Papier läßt sich das alles sehr schön rechnen. In der physikalischen Wirklichkeit aber ist nicht die Erde ruhend und auch nicht die Sonne, sondern der Schwerpunkt des gesamten Sonnensystems ruht (relativ), die Erde kreist darum auf einer Keplerbahn, angenähert. Die Bewegung der Sonne im gedachten Bezugssystem der Erde ist nur eine gedachte oder errechnete Bewegung. Die Bewegung der Erde um den Schwerpunkt des Planetensystems ist eine physikalische Bewegung, verursacht durch wirkliche physikalische Massen.

Nach diesem Exkurs in die höhere Mechanik kehren wir zurück zur Wärmemechanik der Gase. Nach der mathematischen Theorie wird das Gas auf die Nullwerte von Druck und Volumen im pv-Diagramm bezogen. Bei jeder Volumsvergrößerung bis zum Volumen unendlich leistet das Gas Arbeit nach außen, jede Volumsverringerung soll Arbeitsleistung von außen sein. Nach den physikalischen Ursachen einer solchen Veränderung fragt die Theorie nicht.

Ganz allgemein kann eine Volumsänderung eines Gases von außen nur durch eine Druckänderung hervorgerufen werden, aber gerade die Druckänderung wird von der Theorie vergessen. Im Grenzfall, wenn sich nur der Druck des Gases ändert ohne Volumsänderung, wird nach Clausius überhaupt keine Arbeit geleistet oder verbraucht. Die Energie des Gases müßte also nach dieser Theorie konstant

bleiben. Nimmt z.B. das Produkt p.v und damit die mechanische Energie des Gases (E = p.v) so zu, daß sowohl der Druck wie auch das Volumen größer werden, so wird nach der mechanischen Theorie Arbeit nach außen geleistet. Trotz Druckerhöhung und Volumsvergrößerung soll die Energie des Gases abnehmen. Im umgekehrten Fall, bei Druck- und Volumsverminderung wird nach dieser Theorie von außen Arbeit geleistet, obwohl das Produkt p.v kleiner geworden ist und der Druck des Gases abgenommen hat. Mit der physikalischen Wirklichkeit haben solche Rechnungen nichts mehr gemeinsam.

Welche Verwirrung hier herrscht, zeigt auch LAUE in seiner „Geschichte der Physik". Er behauptet, daß durch Versuche von Gay-Lussac die „Annahme gesichert" sei, daß die Energie eines idealen Gases nicht vom Volumen abhängt. Nach der üblichen Formel für die Arbeit (p.dv) ist aber gerade eine Volumsänderung mit einer Arbeitsleistung verbunden. Geleistete Arbeit ist mit Energiezu- oder abnahme direkt identisch. Energetisch zu denken war Laue nicht geläufig. Er behauptete vielmehr, daß die Energetik mit ihren Vertretern (Ostwald, Helm u.a.) ausgestorben sei.

In ähnlicher Weise behauptet auch MACHE (Theorie der Wärme), daß das Energieintegral eines Gases ein vollständiges sei, also vom Weg unabhängig. Das ist richtig. Das Arbeitsintegral aber sei ein unvollständiges, also vom Weg abhängig. Die Arbeit ist gleich der Energieänderung. Was für das eine gilt, kann für das andere nicht falsch sein.

Noch einmal, einen Einzelkörper für sich, ein Gas für sich allein gibt es in der physikalischen Wirklichkeit nicht. Ein solches gedachtes Ding der mathematischen Theorie hat daher nur eine gedachte Energie, es kann nur gedachte Veränderungen erfahren oder verursachen.

Jedes wirkliche Gas befindet sich in einer wirklichen Umgebung. Gas wie Umgebung haben wirkliche Drücke, und nur diese wirklichen Drücke können Veränderungen

hervorrufen, wenn sie verschieden sind, wenn zwischen beiden, zwischen Gas und Umgebung eine Potentialdifferenz besteht, eine Druckdifferenz.

Damit ist aber die Richtung des Geschehens eindeutig gegeben: Die Änderung verläuft so, daß ein Potentialausgleich, ein Druckausgleich erfolgt. Die Druckdifferenz zwischen Innen- und Außendruck ist der Intensitätsparameter der mechanischen Energie eines Gases.

Nach der Theorie strebt das Gas in jedem Fall danach, seinen Druck zu verringern und damit sein Volumen zu vergrößern. Für das gedachte, für sich allein bestehende Gas scheint diese einseitige Richtung zunächst durchaus verständlich. In der physikalischen Wirklichkeit ist aber die Richtung nicht in dieser Weise einseitig: Druck gegen null, Volumen gegen unendlich, sondern die Richtung der Veränderung ist von den konkret in der Wirklichkeit gegebenen Parametern bestimmt, eben von der tatsächlich gegebenen Druckdifferenz. Hat die Umgebung einen größeren Druck als das eingeschlossene Gas, so kann sich das Volumen nicht vergrößern, sein Druck wird nicht kleiner werden, sondern im Gegenteil, sein Volumen wird kleiner, sein Druck wird größer; und zwar nicht „von selbst", sondern infolge der Druckdifferenz zwischen Gas und Umgebung.

Ob wir dabei die Arbeitsleistung dem Gas oder der Umgebung zuschreiben, das mag im Einzelfall nach Zweckmäßigkeitsgründen entschieden werden. Streng physikalisch sind beide Aussagen unrichtig: Die Arbeit wurde von dem Zweikörpersystem Gas-Umgebung geleistet. Nur ein Zweikörpersystem kann Energie besitzen. Nur in einem Zweikörpersystem können physikalische Veränderungen auftreten, nicht an einem Einzelkörper allein.

In der physikalischen Wirklichkeit gibt es keine absoluten Drücke und keine absoluten Temperaturen. Das Volumen eines Gases ist zunächst durch die Menge der Materie bestimmt, dann aber auch durch den wirklichen

Außendruck (und die wirkliche Außentemperatur). Nur wenn zwischen Gas und Umgebung eine Druckdifferenz besteht, nur dann ist eine mechanische Energie gegeben, nur dann kann ein Druckausgleich und damit eine Volumsänderung geschehen. Das muß ich immer wiederholen.

Hat ein Gas einen höheren Druck als seine Umgebung, dann kann dieses System Arbeit leisten, bis die Druckdifferenz ausgeglichen ist. Aber auch wenn das Gas einen geringeren Druck hat als die Umgebung, kann dieses System Arbeit leisten, ebenfalls wieder bis die Druckdifferenz ausgeglichen ist. Beim idealen Gas treten bei diesem Druckausgleich keine Temperaturänderungen ein: Es folgt dem Gesetz von Boyle und Mariotte.

Isochore und Isobare

Nach der mathematischen Theorie ist eine isochore Verschiebung, also eine Druckänderung ohne Volumsänderung, nicht mit einer Energieänderung verbunden, da das Volumen des Gases konstant ist und daher $p.dv = 0$. Dagegen bedeutet eine isobare Verschiebung, bei der sich nur das Volumen, nicht aber der Druck ändert, eine Energieänderung. Nehmen wir einen Behälter mit Luft von Atmosphärendruck in einer Umgebung von Atmosphärendruck. Die Energie der eingeschlossenen Luft bleibt bei kleinem und bei großem Volumen immer gleich, nämlich null. Nach der mathematischen Absoluttheorie von CLAUSIUS erfolgt jede isobare Verschiebung unter Arbeitsleistung, wenn das Volumen größer wird; unter Arbeitsaufnahme, wenn das Volumen kleiner wird, ohne Rücksicht auf den Außendruck.

Alle diese Überlegungen bewegen sich im leeren Raum. Erst wenn wir für jede Änderung die konkrete physikalische Ursache angeben können, also das Potential des zweiten Körpers, oder richtiger die Potentialdifferenz zum zweiten Körper, erst dann können wir überhaupt von physikalischen Energien und von den dadurch verursachten physikalischen Veränderungen sprechen.

Weder eine isobare noch eine isochore Veränderung eines eingeschlossenen Gases ist rein mechanisch möglich. Nur in der abstrakten mathematischen Theorie sind die Größen p, v und T nach Belieben variabel. Druckänderungen ohne Volumsänderung oder Volumsänderungen ohne Druckänderung können real nur durch Einwirkung anderer Energieformen verursacht werden, etwa durch eine Temperaturdifferenz zur Umgebung oder durch innere molekulare Umsetzungen. In beiden Fällen bedeutet dann eine Druckzunahme gegenüber der Umgebung, aber ebenso eine Druckabnahme, also jede Bildung oder Vergrößerung einer Druckdifferenz zur Umgebung eine Zunahme der mechanischen Energie des Systems. Dieser wichtige Unterschied gegen die mathematische Theorie ist gerade für die theoretische Chemie von besonderer Bedeutung.

Die Adiabate

Eine sonderbare Konstruktion der mathematischen Theorie ist die Adiabate, jene Kurve im pv-Diagramm, nach der sich die Temperatur eines Gases ändert, ohne daß ihm Wärme zugeführt oder entzogen wird; eine eigenartige Vorstellung, die offensichtlich das Wärmefluidum von der Temperatur trennt. Die Temperatur ist das Maß der Wärme. Diese Meßgröße der Wärme soll sich ändern, ohne daß die Wärme selbst sich ändert. Temperaturänderungen können durch das Wärmefluidum zustande kommen, aber auch ohne diese Flüssigkeit.

„Adiabatisch" ist aus dem Griechischen abgeleitet, es geht nichts hindurch: Durch die Wände des Gefäßes geht kein Wärmefluidum nach außen oder nach innen.

Schon lange war bekannt, daß bei sehr rascher Kompression von Luft Wärme entsteht. Anfang des vorigen Jahrhunderts wurde dann der umgekehrte Vorgang näher untersucht, die Abkühlung der Luft bei rascher Volumsvergrößerung. Nach diesen Beobachtungen wurde, mathematisch, die Adiabate konstruiert, jene Kurve, die angibt, wie

sich ein Gas erwärmen soll, wenn es (rasch) komprimiert wird, und wie es sich abkühlen soll, wenn es (rasch) expandiert. Die Bezeichnung „adiabatisch“ ist danach etwas anders zu verstehen, denn nicht die Wände des Gefäßes sind flüssigkeitsundurchlässig, sondern das Wärmefluidum hat, wegen der raschen Bewegung, nicht genug Zeit, durch die Wände hindurchzufließen.

Jedenfalls ist diese Adiabate eine sonderbare Angelegenheit. Boyle und Mariotte und viele andere hatten festgestellt, daß sich der Druck eines Gases gesetzmäßig ändert, wenn das Volumen des Gases geändert wird, so zwar, daß das Produkt Druck mal Volumen konstant ist, bei gleich bleibender Temperatur. Das ist die Isotherme. Die Adiabate sagt aber das Gegenteil: Wenn man das Volumen eines Gases ändert, so ändert sich nicht nur der Druck, sondern auch seine Temperatur.

Die Anfänge der Adiabate waren recht phantastisch. CARNOT z.B. schrieb 1824: „Die atmosphärische Luft muß sich um 1°C erwärmen, wenn sie durch eine plötzliche Zusammendrückung eine Volumsverminderung um 1/116 erfährt.“ Er kehrt dann einfach diesen Vorgang um: bei Expansion eine entsprechende Abkühlung. Und gleich heißt es: „Es ist dies eine der best erwiesenen Erfahrungstatsachen; wir nehmen sie zur Grundlage unseres Beweises.“ Er verweist auf Breguet, der Temperaturerniedrigungen von 40° und 50° beobachtet hat. Die Beobachtungen des „Herrn Poisson“ stimmen „recht gut“ oder „einigermaßen“ mit solchen Messungen überein. Für einen mathematischen „Beweis“ sind die Grundlagen nicht so wichtig, wenn nur die Rechnung „richtig“ ist, d.h. die gewünschte Zahl am Ende herauskommt. Unbekümmert stellt Carnot fest: „Die Wärmemenge, welche elastische Flüssigkeiten (Gase) bei ihren Volumsänderungen entwickeln oder verschlucken, ist niemals durch irgendeinen direkten Versuch gemessen worden, welcher jedenfalls große Schwierigkeiten machen würde.“

Inzwischen wurden zahllose Versuche unternommen, die Adiabate kann nicht verwirklicht werden. Das Verhalten wirklicher Gase liegt zwischen Isotherme und Adiabate. Ideale Gase folgen der Isotherme, dem Gesetz von Boyle und Mariotte. Dennoch ist die Adiabate, die die Temperaturänderungen bei Volumsänderungen angeben soll, fester Bestand der mathematischen Theorie.

Wieder finde ich es merkwürdig, daß die Industrie so komplizierte Maschinen, mit verschiedenen Chemikalien anwendet, wenn man doch einfach Luft hinreichend expandieren muß, um eine entsprechende adiabatische Abkühlung zu erreichen.

Der Joule-Thomson-Effekt

Die mathematische Theorie sieht immer nur, was sie für ihre Rechnungen brauchen kann. Das ideale Gas folgt der Isotherme von Boyle und Mariotte. Wirkliche Gase zeigen bei Entspannung eine Abkühlung (Gay-Lussac 1807), den Joule-Thomson-Effekt (1853). Allen Physikern ist bekannt, wenn sie von der Verflüssigung der Gase sprechen, daß der Joule-Thomson-Effekt erst unter einer gewissen Temperatur, unter der Inversionstemperatur eine Abkühlung bringt. Beim Wasserstoff zum Beispiel beträgt die Inversionstemperatur -80°. Unterhalb dieser Temperatur kühlt sich Wasserstoff bei Expansion ab. Oberhalb dieser Temperatur aber erwärmt sich der Wasserstoff bei Expansion, der Theorie entgegen.

Nach Clausius ist jede Volumsvergrößerung eines Gases mit einer Arbeitsleistung auf Kosten der inneren Energie verbunden, was eben eine Abkühlung bewirkt. Unterhalb der Inversionstemperatur könnte diese These richtig sein. In den Lehrbüchern geht man diskret über die Tatsache hinweg, daß bei Gasen oberhalb der Inversionstemperatur bei Expansion eine Temperaturerhöhung eintritt. Volumsvergrößerung ist hier also keine Arbeitsleistung des Gases auf Kosten seiner inneren Energie. Im Gegenteil, hier wird

von außen – bei Expansion – Arbeit geleistet, denn das Gas erwärmt sich. Die schöne Geschichte von der adiabatischen Abkühlung bei Expansion paßt gut in die Theorie, sie wird aber durch das Experiment widerlegt. Die einfache energetische Erklärung habe ich schon gegeben. Wenn wir von thermischen Einwirkungen und von inneren molekularen Umsetzungen absehen, wird jede Volumsänderung eines eingeschlossenen Gases durch die Druckdifferenz zwischen Gas und Umgebung verursacht. Eine Erwärmung des Gases, ebenso wie eine Abkühlung, ist eine Vergrößerung der thermischen Potentialdifferenz zwischen Gas und Umgebung. Diese neue thermische Energie des Zweikörpersystems wird durch die mechanische Energie des Systems verursacht. Ohne Druckdifferenz kann es keine Volumsänderungen geben.

Beim idealen Gas gibt es jedenfalls keine Adiabate. Wird dem Gas keine Wärme zugeführt oder entzogen, dann bleibt seine Temperatur bei Änderungen der Druck-Volums-Relation (nach Boyle und Mariotte) unverändert. Die mathematischen Kreisprozesse behandeln abstrakt ideale Gase. Dennoch verwenden sie die Adiabate, die es beim idealen Gas nicht gibt.

Der „2. Hauptsatz“ der mechanischen Wärmetheorie

„Energieentwertung“

Die verschiedenen „wissenschaftlichen“ Formulierungen des 2. Hauptsatzes von Clausius bis Planck habe ich bereits angeführt. Was sonst noch zu diesem Theorem gesagt wird, ist einer eingehenden Untersuchung nicht wert. THOMSON führte den Begriff der Energiezerstreuung ein, oder den Satz von der Entwertung der Energie. Aus beiden Thesen soll der Wärmetod folgen, den schon Clausius erfunden hatte. BOLTZMANN schließlich wollte die Wirklichkeit gegen die Theorie retten: Durch Heranziehen der

Wahrscheinlichkeit sollte das Zwingende des 2. Hauptsatzes erweicht werden. „Man kann sich die Welt als ein mechanisches System von einer enorm großen Anzahl von Bestandteilen und enorm langer Dauer denken, so daß die Dimensionen unseres Fixsternhimmels winzig gegen die Ausdehnungen des Universums, und die Zeiten, die wir Äonen nennen, winzig gegen dessen Dauer sind. Es müssen dann im Universum, das sonst überall im Wärmegleichgewicht, also tot ist, hier und da solche verhältnismäßig kleine Bezirke von der Ausdehnung unseres Sternenraumes vorkommen, die während der verhältnismäßig kurzen Zeit von Äonen erheblich vom Wärmegleichgewicht abweichen".

Boltzmann ist der typische Vertreter einer autoritären und daher gläubigen Wissenschaft. Er setzt all seinen Scharfsinn ein, um das, was er eigentlich nicht glauben kann, als möglich nachzuweisen. Sehr genau geht es da nicht zu: Wie sollte physikalisch verursacht aus dem allgemeinen Wärmegleichgewicht eine solche Insel entstehen? Nur der Wahrscheinlichkeit wegen? Daß diese enorm unwahrscheinliche Theorie vielleicht von Grund auf falsch sein könnte, eine solche Blasphemie liegt dem Gläubigen fern.

Über den gedankenlosen und tendenziösen Mißbrauch der Begriffe Zufall und Wahrscheinlichkeit habe ich ausführlich in meiner Rationalen Physik geschrieben. Mit unendlich kleinen Wahrscheinlichkeiten im unendlich großen Universum läßt sich alles beweisen. Auch PLANCK hat, wie zitiert, von der Vorliebe der Natur für wahrscheinlichere Zustände philosophiert.

Nahezu alle Energie auf der Erde ist umgewandelte Wärmeenergie, aus dem Temperaturgefälle zwischen Sonne und Erde. Die Wärme ist also nicht Abfall aller energetischen Umsetzungen, sondern vielmehr ihre primäre Quelle. Nur ein naturferner Theoretiker kann das Auf und Ab in der Natur übersehen, den Wechsel von Vergehen und Entstehen. Energetisch ausgedrückt: Potentiale der einen Energie

gleichen sich aus, Potentiale einer anderen Energie werden durch den Ausgleich vergrößert. Hier gibt es im Naturgeschehen tatsächlich eine Richtung: Potentiale gleichen sich aus. Das gilt für jede Energie, auch für die Wärmeenergie. Aber nur ein für die Wirklichkeit der Natur Blinder kann die andere Seite übersehen, das gleichzeitige Entstehen und Anwachsen von Potentialen anderer Energieformen. Für den Mathematiker, der seine mechanische Rechenaufgabe mechanisch rechnet, existiert die übrige Welt nicht. Von Energiezerstreuung kann keine Rede sein, sobald wir die Zusammenhänge sehen.

Was über die Wahrscheinlichkeit so vielfältig philosophiert wurde, ist das Papier nicht wert, auf dem es gedruckt wurde. In einem ewigen Kreislauf kann es keine absolut wahrscheinlicheren Zustände geben. Abbau und Aufbau lösen einander ab nach den Gesetzen der Natur. Daß eine vollkommen gleichmäßige Verteilung eine „ideale Unordnung" sein soll, ist doch eine merkwürdige Anschauung. Die kinetische Gastheorie, die eigentliche Basis der mechanischen Wärmetheorie, ist ein Beispiel für geradezu ideale Unwahrscheinlichkeit. Das vollkommen verlustfreie Funktionieren der kinetischen Gastheorie, nach der die verschiedenartigsten Moleküle einem abstrakten mathematischen Schema folgen, das die gesamte Mechanik auf die elementaren Gesetze des idealen elastischen Stoßes reduziert, das übertrifft alles, was je an science fiction erdacht wurde. Einsteins Einfälle muß ich ausnehmen.

Die kinetische Gastheorie

Zum Kuriosesten, was die abstrakte mathematische Theorie produziert hat, gehört die kinetische Gastheorie, wie sie von KRÖNIG 1856, CLAUSIUS 1857, GIBBS, HELMHOLTZ, BOLTZMANN, PLANCK und vielen anderen mathematischen Theoretikern und Mechanikern entwickelt wurde. Nehmen wir als Beispiel ein Gasgemisch mit sagen wir drei Komponenten: ein einatomiges, ein zweiatomiges

und ein dreiatomiges Gas. Nach experimentellen Messungen von Dalton verhält sich jedes einzelne Gas so, als ob es den Raum allein erfüllte. Nach der kinetischen Gastheorie gibt es da offensichtlich zwei Möglichkeiten. Die Moleküle jedes einzelnen Gases bleiben für sich, die einatomigen, die zweiatomigen und die dreiatomigen Moleküle stoßen jeweils nur mit gleichartigen Molekülen zusammen. Natürlich müßten auch Moleküle verschiedener Gase, aber mit gleicher Atomanzahl voneinander getrennt sich bewegen uud stoßen. Niemand wird diese Möglichkeit ernsthaft in Erwägung ziehen.

Die zweite Möglichkeit ist die Superposition, wie sie auch in der Optik verwendet wird, um den völlig verlustfreien Durchgang zweier Lichtstrahlen durcheinander zu erklären: In der Kreuzungszone überlagern sich die Schwingungen der zwei Strahlen in idealer, vollkommener Weise ohne jeden Verlust, um sich nach Verlassen des Kreuzungsbereiches wieder in der ursprünglichen Form nach Richtung, Frequenz und Amplitude weiterzubewegen. Die Wirklichkeit ist allerdings nicht so einfach wie die Rechenaufgaben der mathematischen Physiker. Denn jeden einzelnen Punkt des freien Raumes durchlaufen nicht zwei Lichtstrahlen, sondern unendlich viele. Überdies muß jeder Raumpunkt nicht nur das schmale Frequenzband des sichtbaren Lichtes weitergeben; jeder Raumpunkt müßte auch alle Schwingungen des gesamten Spektrums der elektromagnetischen Strahlungen mitmachen. Mir jedenfalls scheint durch diese Tatsachen jedes Medium überfordert, wie immer wir es nennen. Die mathematische Theorie kennt solche Bedenken nicht.

Dem Superpositionsprinzip entsprechend könnte die mathematische Gastheorie annehmen, daß sich die Moleküle der drei Gase in bunt gemischter Reflexion treffen und dabei im Schnitt ihre ursprünglichen Parameter, Rotationen und Bewegungsgrößen, beibehalten. Ich halte solches

für mechanisch völlig ausgeschlossen. Wie soll dieser Mechanismus funktionieren, wenn man zwei gleichatomige, also etwa zwei einatomige Gase mischt? In ihrem rein mechanischen Verhalten unterscheiden sich die beiden Gase nicht voneinander, dennoch behält jedes seinen eigenen Partialdruck, ungestört durch das „ideal ungeordnete" Durcheinander mit dem zweiten Gas. Mathematisch behilft man sich, indem man den Rechengrößen des einen Gases andere Koeffizienten gibt als den Rechengrößen der Moleküle der anderen Komponente. Aber wie machen das die wirklichen Moleküle, nicht die idealen Massenpunkte der mathematischen Theorie?

Schon bei einem einzelnen Molekül beginnen die Schwierigkeiten. Ein dreiatomiges Gas hat sechs Freiheitsgrade: Das Molekül kann sich in den drei Richtungen des Koordinatensystems bewegen, und um drei freie Achsen rotierieren. Schon die drei Geschwindigkeiten nach den drei gedachten Koordinatenachsen sind mathematische Fiktion. Ein Wagen, der auf der Straße fährt, hat nicht zwei Geschwindigkeiten, eine nach Längen- und eine nach Breitengraden. Jeder wirkliche Körper hat nur eine einzige Geschwindigkeit als vektorielle Summe der auf ihn einwirkenden Kräfte: $v = l1/t$. Weitere Freiheitsgrade gibt es nicht.

Die mathematische Theorie mußte schließlich die Zahl der Freiheitsgrade noch ganz bedeutend erhöhen, um die Temperaturabhängigkeit der spezifischen Wärme zu erklären. Die zusätzlichen Freiheiten bestehen denn in Schwingungen der Atome gegeneinander. Man kommt bis auf 20 Freiheitsgrade und mehr.

Die kinetische Energie der Moleküle, nach dem Gleichverteilungssatz im statistischen Mittel auf Translation und Rotation gleichmäßig verteilt, kommt durch Wärmezufuhr, durch Erwärmung zustande. Nach der mechanischen Wärmetheorie stoßen die Moleküle der Gefäßwände, die selbst durch Stoß von außen zu (verlustfreien) harmonischen

Schwingungen angeregt wurden. Trifft nun ein solches Molekül auf die Gefäßwand, so wird bei der Reflexion dem Molekül Bewegungsenergie zugeführt: Durch den Stoß sollen die drei Rotationsmöglichkeiten und die „drei" translatorischen Bewegungen beschleunigt werden. Wie kann man, das habe ich schon gefragt, bei einem hantelförmigen Gebilde durch Reflexion an einer schwingenden Wand die Rotation verstärken? Im Zirkus sehen wir Artisten, die zahlreiche Keulen zugleich durch die Luft wirbeln lassen. Noch nie habe ich einen Artisten gesehen, der rotierende Keulen gegen eine elastische Wand wirft in der Hoffnung, daß sie nach der Reflexion mit durchschnittlich gleicher Rotation wieder in seine Hand gelangen. Solche utopische Künste sind allein der mathematischen Theorie vorbehalten.

Soll ich, nur weil die mathematische Theorie im Laufe von Jahrhunderten einige zutreffende Zahlenfolgen errechnet hat, auf meinen Verstand verzichten und das, was mechanisch völlig ausgeschlossen ist, für Wirklichkeit halten? Die Schwierigkeiten der kinetischen Gastheorie verschweigt man großzügig. 20 und mehr Freiheitsgrade folgen aus den gleichen Prinzipien wie die Quantenbedingungen der mechanischen Atomtheorie. Eddington bewunderte diese mathematischen Tricks. Da gibt es zahllose ungelöste Probleme. Die kinetische Theorie weiß wohl zu unterscheiden zwischen Flüssigkeiten und Gasen. Worin aber soll der Unterschied bei der kritischen Temperatur bestehen, wenn Flüssigkeit und Gas die gleiche Dichte haben? Eine eingehende Kritik der kinetischen Gastheorie wäre verlorene Zeit.

Makrophysikalische Atome und Moleküle

Wie einfach ist gegen diese hochinteressante mathematische Theorie die These, daß Atome und Moleküle genau so physikalische Körper sind wie alle physikalischen Körper. Atome und andere Elementarteilchen sind nicht mathematische Punkte, denen man nach Bedarf physikalische

Größen zuordnet, wie es eben die Rechnung fordert. Physikalische Körper haben ganz allgemein nicht einen bestimmten Rauminhalt, sondern sie suchen einen bestimmten Raum zu erfüllen, wenn sie daran nicht durch andere physikalische Körper gehindert werden. Bei festen und flüssigen Körpern ist dieses Streben, Raum zu erfüllen, relativ eng begrenzt. Bei Gasen sind diese Grenzen weiter. Gase können sehr große Räume erfüllen, aber jedenfalls nur endliche Räume. Naturgemäß ist die Dichte eines physikalischen Körpers von seiner Raumausdehnung abhängig.

Alles dies gilt nicht nur für das makrophysikalische Gas, sondern auch für seine Elemente, Moleküle und Atome. Der „Daltonsche Dunst" bewirkt den „Dunstdruck", den wir im Experiment messen. Der naive mechanistische Atomismus, ebenso wie die kinetische Gastheorie bewegen das absolut Volle im absolut Leeren. Für diese primitiven mechanistischen Materialisten gibt es nur Druck und Stoß als physikalische Wirklichkeit. Damit wird die Basis der Physik aufs Äußerste reduziert. Nicht genug damit, die Theoretiker denken nicht, sie rechnen nur, automatisch nach den erlernten Algorithmen. Die Verbindung zur Wirklichkeit, selbst zur Mechanik, beschränkt sich auf ein paar oberflächliche Bezugspunkte.

Zu Othellos Zeiten waren die Afrikaner, die ihre Köpfe unterm Arm tragen, „Wissenschaft": Sie haben wirkliche Köpfe (unterm Arm)! Heute sind die Quantensprünge der Elektronen „Wissenschaft": Die Theoretiker haben das alles exakt berechnet! Natürlich steht in jedem Lehrbuch irgendwo, am Anfang oder am Schluß, daß das alles nur mathematische Modelle seien. Aber die Physiker können sich nun einmal Atome nicht anders vorstellen als mit kreisenden und springenden Elektronen. Eigentlich sehr merkwürdig, denn einem Menschen, der nur ein wenig Gefühl für Mechanik hat, ist es ganz unmöglich, diese ungestört durcheinander kreisenden und springenden Elektronen als Wirklichkeit zu denken.

Noch einmal: Wie kühn ist gegen diese hochinteressanten mathematischen Fiktionen die Annahme, daß nur die Moleküle der festen Körper sich – angenähert – wie feste Körper verhalten, die Moleküle der Flüssigkeiten aber das Verhalten von Flüssigkeiten zeigen, also keine Formelastizität aufweisen. Schließlich verhalten sich die Moleküle von Gasen wie Gase: Sie besitzen keine Formelastizität und einen geringen Widerstand gegen Volumsverkleinerung, in Abhängigkeit von ihrer Dichte, wie wir das von den Gasgesetzen nach Boyle und Mariotte und nach Dalton und Gay-Lussac kennen. Die Veränderungen, die als Funktion der Temperatur vor sich gehen, sind nicht Änderungen einer mechanischen Bewegungsenergie, sondern Änderungen der thermischen Energie und ihrer Parameter.

Wärmeenergie ist nicht mechanische Energie, wie dies die „höhere" Mechanik behauptet. Die große Erkenntnis Robert MAYERs, daß die Wärmeenergie eine eigene Energieform ist, von gleicher Art und von gleichem Wert wie alle anderen Energieformen, dieser große Fortschritt wurde von HELMHOLTZ wieder rückgängig gemacht. Die mathematischen Theoretiker wollten Mayer nicht verstehen, sie übten weiter, was sie von Newton einseitig erlernt hatten: die theoretische Mechanik. Gegen MAXWELLs mechanische Zug- und Druckströmung im Medium wehrte sich FARADAY vergeblich. Der Fortschritt der höheren Mechanik brachte uns schließlich die Quantenmechanik.

Die Wärmekraftmaschinen

Die älteste Wärmekraftmaschine ist die Dampfmaschine. Durch ihre einfachen und übersichtlichen Mechanismen lassen sich an ihr vortrefflich die Probleme der mechanischen Wärmekraftmaschinen im allgemeinen analysieren. Die Dampfmaschine hat erst die Massenerzeugung der Industrie im vorigen Jahrhundert ermöglicht, die Dampfmaschine hat auf der Schiene, in Flüssen und Meeren den

Weltverkehr eingeleitet. Erst in den letzten Jahrzehnten wurde die Dampfmaschine vom Elektromotor und von den Verbrennungsmotoren verdrängt. Der Dampfturbine macht der Dieselmotor Konkurrenz. Dampfturbine und Dieselmotor erreichen Wirkungsgrade bis zu 45%, den höchsten bisher von üblichen Wärmekraftmaschinen erreichten Wirkungsgrad.

Das Symbol der Dampfmaschine, die Dampflokomotive, ist nahezu ausgestorben. Nach einem unvergleichlichen Siegeszug über die ganze Erde scheint die Dampfmaschine wieder aus der Technik zu verschwinden. Wie es zu dieser Entwicklung kam, die diese Maschine in eine Sackgasse brachte, können wir am besten an der historischen Entwicklung der Dampfmaschine ersehen.

Die Geschichte der Dampfmaschine

Die Geschichte dieser Erfindung ist eine sehr merkwürdige. Das mag vor allem daran liegen, daß man zunächst einmal gar nicht wußte, was man eigentlich vom Dampf wollte. Bis ins 17. Jahrhundert kannte man an Kraftmaschinen nur die Wasserräder und die Windräder. Dazu kam die animalische Arbeitsleistung, Menschen und Tiere. Die Absicht, eine Maschine zu erfinden, die Arbeit produziert, gab es nicht. Natürlich waren da vielerlei Maschinen, die einer Arbeitskraft bedurften, vor allem die Mühlen zum Mahlen von Getreide (oder zum Mahlen von Schießpulver). Auch zahlreiche andere Arbeitsmaschinen waren in Gebrauch, zur Bearbeitung der verschiedensten Materialien, etwa im Bergbau. Zur Metallbearbeitung Schmiedehämmer, für Holz Sägen, in der Gerberei Walkmaschinen, Papiermühlen, Gebläse. Eine besondere Bedeutung hatten die Pumpwerke zum Heben von Wasser. Sie wurden durch animalische Kraft oder durch Wasser- oder Windräder angetrieben. Gerade hier setzt die neuzeitliche Verwendung der Dampfkraft ein.

Es beweist die Beschränktheit unseres Schulwissens, wenn wir heute immer noch die Meinung hören, physikalische Experiment und ihre technische Auswertung gebe es erst seit dem Beginn der Neuzeit. Die technische Evolution der jüngeren Steinzeit ist mit der Entwicklung der modernen Technik durchaus vergleichbar. Heute kann es aber auch keinen Zweifel mehr geben darüber, daß die alten Kulturvölker weitaus mehr naturwissenschaftliche Kenntnisse und Techniken besaßen als das mittelalterliche Europa. Als Beispiel sei nur angeführt: Es ist erwiesene Tatsache, daß die alten Ägypter und Babylonier galvanische Batterien hatten und zum Galvanisieren verwandten.

Auch die Dampfmaschine hatte ihre Vorläufer im Altertum. Am bekanntesten ist die Dampfkugel des HERON von Alexandria (1. Jahrhundert v. Chr.). Der aus gebogenen Röhren ausströmende Dampf setzte das Wasser-Dampfgefäß in Rotation; eine Reaktionsdampfturbine also. Man kann diese geniale Erfindung nicht einfach als Spielerei abtun. Heron und sein Lehrer KTESIBIOS waren durchaus auf praktische Aufgaben ausgerichtete Techniker, von einer bewundernswerten Vielseitigkeit.

Daneben gibt es Berichte von Schiffen und Wagen, die durch Dampf bewegt wurden. All das verweisen wir heute noch in das Reich der Fabeln.

Die erste Verwendung der Dampfkraft in der Neuzeit sollte also die Schwierigkeiten der Wasserpumpen beheben. Durch den atmosphärischen Druck von ca. 1kp/cm^2 sind den Saugpumpen Grenzen gesetzt, eine Saughöhe von 6m bis 7 m kann beim Wasser kaum überschritten werden. Freilich hatte schon Ktesibios die Druckpumpe erfunden, durch die man Wasser auch in größere Höhen befördern kann. Aber die neuzeitlichen Erfinder gingen ihre eigenen, mehr oder weniger originellen Wege. Salomon de CAUX erhitzte eine Kugel, in die eine Röhre eingesetzt war, die fast bis auf den Boden der Kugel reichte. Durch den

entstehenden Dampf wurde das Wasser in die Röhre gedrückt, bis es oben ausfloß. Auch diese Erfindung hatte unmittelbare Vorgänger: In einen Kasten mit Wasser wurde durch Blasbälge Luft eingepumpt, die das Wasser durch Röhren emportrieb; ein Prinzip, das wiederum auf Heron von Alexandria zurückgeht.

De Caux hatte mit seiner Erfindung wenig Glück. Er wurde von Richelieu, der den lästigen Bittsteller loswerden wollte, in ein Irrenhaus gesteckt. Inzwischen hatte der Italiener Giovanni BRANCA eine richtige Dampfturbine gebaut: Durch ausströmenden Dampf wurde ein kleines Mühlrad in Bewegung gesetzt.

Der Ruf von Cauxs Erfindung drang auch nach England zu dem Marquis de Worchester, ein Mann, der 100 Erfindungen gemacht hat. WORCHESTER besuchte, in Begleitung einer schönen Dame, Caux im Irrenhaus. Worchester, der schließlich selbst in Konflikt mit der Obrigkeit geriet und in ein Gefängnis kam, reihte Cauxs Erfindung als Nr. 68 in seine hundert Erfindungen ein. Seine Verbesserung bestand darin, daß er zwei Gefäße mit Wasser nahm, die abwechselnd erhitzt wurden. Der Lauf des Wassers wurde durch Hähne reguliert.

Nur Branca (1629) hatte eine Wärmekraftmaschine gebaut. Die bewegende Kraft des Dampfes setzt das Mühlrad in Bewegung. Doch diese Linie wurde zunächst nicht weiter entwickelt. Von Caux und Worchester wurde nur die räumliche Ausdehnung des entstehenden Dampfes verwendet: Der Dampf verdrängt das Wasser. Ganz in diese Richtung ging auch die nächste englische Erfindung, die Aspirationsmaschine von Thomas SAVARY (1690). Auch hier wird Wasser durch den Dampf verdrängt und damit gehoben. Die Neuerung gegen Worchester bestand darin, daß die Maschine selbst Wasser in den Kessel saugt, und so das hochgepumpte Wasser immer ersetzt. Der Kessel wird, wenn er nur noch wenig Wasser enthält, mit kaltem Wasser

übergossen. Der Dampf kondensiert. Durch den enstandenen Unterdruck wird kaltes Wasser angesaugt, oder richtiger: Der Außendruck der Luft drückt das Wasser in den Kessel, in dem durch die Kondensation ein Unterdruck entstanden ist.

Von der Dampf-Wasserpumpe zur Kraftmaschine

Die Verwendung der Kondensation zur Erzeugung eines Unterdrucks stammt nicht von Savary, sondern von dem Franzosen Dionysius PAPIN, Professor in Marburg. Papin erhitzte Wasser in einem Zylinder, der durch einen beweglichen Kolben abgeschlossen war. Der Dampf hebt den Kolben, nach dem Prinzip der Raumverdrängung. Kühlt man den Zylinder ab, so kondensiert der Dampf, der Kolben wird durch den äußeren Luftdruck gegen den Unterdruck im Innern des Zylinders nach unten bewegt und hebt dabei über eine Rolle ein Gewicht. Damit war das Prinzip der späteren atmosphärischen Dampfmaschinen erfunden. Noch einmal sei betont: Auch Papin verwendet nur die Raumverdrängung des Dampfes, nicht seine ponderomotorische Kraft. Der Dampfdruck wird nur indirekt verwendet, obwohl gerade Papins Name mit dem Dampfdruck-Kochtopf verbunden ist. Brancas Dampfdruckturbine blieb vergessen.

Immerhin kam Papin von der Wasserverdrängung weg zu einer vielseitig einsetzbaren Kraftmaschine. Er verband seine Kolbenmaschine mit der Aspirationsmaschine von Savary und bewegte so ein Schiff, mit dem er auf der Themse (oder auf der Fulda) gefahren sein soll. Bei einem Streit mit den Matrosen soll das Schiff zerstört worden sein.

Bleibender Erfolg war erst der atmosphärischen Maschine von NEWCOMEN (1705, 1712) beschieden. In einem Kessel wird Dampf erzeugt, der in einem darüber befindlichen Zylinder einen Kolben hebt. Mit dem Kolben ist über einen Balancier das Gestänge einer Pumpe verbunden. Durch das Heben des Kolbens wird das Pumpengestänge nach unten

bewegt. Dann wird der Zylinder mit kaltem Wasser besprengt, im Zylinder entsteht durch die Dampfkondensation ein Unterdruck. Der äußere atmosphärische Luftdruck drückt den Kolben nach unten. Der Waagbalken des Balanciers kehrt die Bewegungsrichtung um: Das Pumpengestänge und damit das Wasser wird gehoben. Newcomens Maschine wurde vor allem zur Wasserhaltung in Bergwerken verwendet.

Die Rolle der Grundlagenforschung

Wenn wir nach den Ursachen fragen, warum die Entwicklung der Dampfmaschine den unfruchtbaren Umweg über die atmosphärische Maschine nahm, müssen wir wohl die Arbeiten von TORICELLI, PASCAL und GUERICKE heranziehen. Die gewaltige Kraft des atmosphärischen Drukkes gegen das Vakuum war allen Gebildeten geläufig und durch die Magdeburger Versuche (1650) modern (Guericke, „Experimenta Magdeburgica" Amsterdam 1672). Man kannte nur ein Gas, die Luft. Die Entdeckung, daß es auch andere elastische Flüssigkeiten (Fluida) gibt (BLACK 1755 Kohlensäure, Cavendish 1766 Wasserstoff, „brennbare Luft"), war eine große Überraschung. BOYLE untersuchte um 1760 das physikalische Verhalten der Luft genauer. Der Dampf war als elastisches Fluidum noch nicht entdeckt, den Dampfdruck und seine bewegende Kraft hatte noch niemand untersucht. Man kannte nur die Kraft der Luft, wohl auch schon vom Wind her. Ein merkwürdiges Kuriosum ist, daß auch noch OTTO (mit Langen) einen atmosphärischen Gasmotor baute, den er 1867 auf der Pariser Weltausstellung ausstellte.

Ein weiteres Moment ist der Umstand, daß offensichtlich niemand daran dachte, neben Wasser- und Windrädern eine neue Kraftmaschine zu erfinden. Die Trennung in Arbeits- und Kraftmaschinen war noch unbekannt. Im 17. Jahrhundert wurden noch zahlreiche Perpetua mobilia erfunden, Mühlen etwa, die das benötigte Wasser selbst hoch

pumpen. Nach Anweisung der Erfinder ist besonders darauf zu achten, daß über das Mühlrad stets weniger Wasser abfließt, als durch die Pumpen gehoben wird.

Man hatte noch keine rechte Vorstellung und auch kein Maß für Kraft und Arbeit. NEWTONs Mechanik erschien 1687. Seine Prinzipien wurden nicht von den Praktikern, sondern von theoretisierenden Mathematikern übernommen, die, ungestört durch die physikalische Wirklichkeit, ihren mathematischen Phantasien nachgingen. Vollends haben wir keinen Grund zu überlegener Kritik, wenn wir etwa die Formulierung des 2. Hauptsatzes von PLANCK betrachten. Bis in die Gegenwart fehlen gerade in der mechanischen mathematischen Wärmetheorie klare Begriffe der Energie, der Arbeitsfähigkeit und der Arbeitsleistung, wie ich ausführlich am pv-Diagramm gezeigt habe.

Die Dampfmaschine wurde von Praktikern entwickelt. Von der experimentellen Forschung vernachlässigt, übernahmen die Dampfmaschinenbauer nur die Ergebnisse einer falschen mathematischen Theorie. Durch die wirklichkeitsfremde Behauptung von der Minderwertigkeit der Wärmeenergie kam diese gewaltige Entwicklung schließlich in einer Sackgasse zum Stillstand.

Von Newcomen zu Watt

1707 soll Papin sein Dampfschiff erbaut haben, 1705 baute Newcomen seine erste Dampfmaschine. Daß Papin erfolglos blieb, – er starb in Not in England – kann also nicht gut an der Entwicklung der Zeit liegen. Newcomen hatte offenbar genügend Geld und Einfluß, seine Maschine durchzusetzen. Ein großer Techniker war er gewiß nicht. Die Abkühlung des Dampfes im Zylinder erfolgte durch Aufgießen von Wasser. Doch einmal wurde der Kolben undicht, und die Maschine lief schneller und schneller: Durch den undichten Kolben war Wasser direkt in den Zylinder gelangt. Hinfort wurde die Abkühlung und Kondensation des Dampfes durch direktes Einspritzen von Wasser bewirkt.

Der periodische Gang der Maschine mußte von Hand aus gesteuert werden. Einem Knaben, Humphrey POTTER, war diese Arbeit zu langweilig. Er verband die Ventilhebel durch Schnüre mit dem Gestänge der Maschine (1718). Nicht Newcomen erfand die automatische Steuerung.

Papin hatte in seinem Druckkochtopf die gewaltige Kraft des eingeschlossenen Dampfes vor Augen. Ob er unter günstigeren Lebensbedingungen den Dampfdruckzylinder erfunden hätte, kann nur eine rhetorische Frage sein. Jedenfalls blieb die atmosphärische Maschine von Newcomen für 60 Jahre alleinherrschend, bis James Watt. Von der Erfindung de Cauxs (1614) her blieb die Hauptaufgabe der Dampfmaschine das Pumpen von Wasser. Noch WATT baute seine ersten Dampfmaschinen zur Wasserhaltung in Bergwerken. Der Auf- und Abbewegung des Kolbens entsprach die entgegengesetzte Bewegung der Pumpe. Erst 1787 verwendete Watt Kurbel, Pleuelstange und Schwungrad, um aus der hin- und hergehenden Bewegung eine rotierende zu machen. Diese Vorrichtungen waren den Technikern längst bekannt.

Mit Watt nimmt sich ein genialer Erfinder, durch die Zeit und persönliche Umstände begünstigt, der Entwicklung der Dampfmaschine an. Durch zahlreiche Detailerfindungen bringt er die Dampfmaschine auf einen Stand, den sie bis in die Gegenwart kaum überschreiten konnte. Sein entscheidendes Verdienst war jedoch der Übergang vom Athmosphärendruck zum Dampfdruck als treibende Kraft. Der Dampfdruck dient nicht mehr zur Rückführung des Kolbens in den Ursprungszustand, während der äußere Atmosphärendruck die Arbeit leistet. Watt läßt den Kolben in beide Richtungen durch den Druck des Dampfes bewegen. In beiden Richtungen leistet der Dampf die Arbeit am Kolben des Zylinders.

Der Dampfdruck (1,5at) überschritt zunächst kaum den Atmosphärendruck. Auch Watt war auf die Kondensation

des Dampfes in einem Kondensator angewiesen. Der Dampfdruck ersetzte den atmosphärischen Druck, der Unterdruck auf der Gegenseite wurde, wie bei der Maschine von Newcomen, durch Kondensation des Dampfes erreicht. Der geringe Dampfdruck bedingte, wie bei den atmosphärischen Maschinen, eine sehr große Kolbenoberfläche, da der Überdruck kaum mehr als 1 kp/cm² erreichte. Es wurden Maschinen mit 50 Zoll Kolbendurchmesser und mehr gebaut.

Bald ging man aber vom Niederdruck, der eigentlich nur den atmosphärischen Druck ersetzen sollte, zum Hochdruck über. 2, 3, 4 Atmosphären verwendete Evans in Amerika. Watt war durch Patentschwierigkeiten in dieser Richtung gehemmt. 1804 baute Arthur Woolf einen kleinen Hochdruckzylinder (3 - 4 at) mit einem größeren Niederdruckzylinder (1 - 2 at) zusammen, um den noch nicht vollständig entspannten Dampf der Hochdruckmaschine auszuwerten. Einen anderen Weg zur Dampfeinsparung geht die Expansionsmaschine, bei der schon während der Kolbenbewegung die Dampfzufuhr gedrosselt wird, so daß der Dampf mit geringem Überdruck aus dem Zylinder austritt. Die folgenden Jahrzehnte brachten eine Fülle von Verbeserungen, aber keine prinzipiellen Änderungen mehr. Alle diese Verbesserungen konnten das Ende der Dampfmaschinen im Zeitalter des Elekromotors und der Verbrennungsmotoren nicht verhindern.

Der Wirkungsgrad der Dampfmaschinen

Der Wirkungsgrad der ersten Dampfmaschinen war außerordentlich gering, etwa 1%. Die Kosten für das Brennmaterial der Wasserhaltungsmaschinen von Newcomen fielen bei den Bergwerksbetrieben kaum ins Gewicht. Eine Rentabilitätsrechnung im heutigen Sinn gab es noch nicht. Wo keine Wasserkraft zur Verfügung stand, war eben die Dampfmaschine die einzige und moderne Möglichkeit, große Pumpen zu bewegen.

Die Dampfmaschinen von WATT erreichten einen Wirkungsgrad von etwa 3%. Mit dem gleichen Wirkungsgrad von 3% konnte 1821 SEEBECK Wärmeenergie in elektrische Energie umsetzen, allerdings nur in sehr kleinen Mengen. In den Dampfmaschinen gingen also 97% der aufgewandten Wärmeenergie verloren bei der Umwandlung in mechanische Energie. Dieser geringe Wirkungsgrad hinderte aber keineswegs den gewaltigen Siegeszug der Dampfmaschine, durch den erst unsere moderne technische Zivilisation und damit der soziale Aufstieg möglich wurde. Eine Alternative gab es nicht, zum Beginn des vorigen Jahrhunderts hatte die Dampfmaschine keine Konkurrenz.

Der Wirkungsgrad der Dampmaschinen stieg seit Watt bis zur Jahrhundertwende auf etwa 15%. Auch heute erreichen Kolbendampfmaschinen kaum mehr. Aus dieser minimalen Steigerung des Wirkungsgrades im 20. Jahrhundert ist ersichtlich, daß hier ein Grenzwert erreicht wurde. Nur völlig neue Prinzipien können einen entscheidenden Fortschritt bringen.

In der Gegenwart erreichen die üblichen Wärmekraftmaschinen etwa folgende Wirkungsgrade:

Dampfmaschine	0,16
Dampfturbine	0,25 - 0,40
Benzinmotor	0,15 - 0,25
Dieselmotor	0,25 - 0,45
Glühkopfmotor	0,30 - 0,35

Der Wirkungsgrad und die Temperatur

Die ersten Dampfmaschinenbauer waren reine Praktiker, eine Theorie der Wärmeenergie gab es noch nicht. 1824 veröffentlichte der junge Genieoffizier Sadi CARNOT seine Untersuchung „Über die bewegende Kraft des Feuers". Darauf wurde schon verschiedentlich hingewiesen. Carnot ging von der Überzeugung aus, daß auch durch eine Wärmekraftmaschine kein Perpetuum mobile konstruirt werden kann. Die erzeugte Arbeit ist in einer wirklichen Maschine

stets kleiner als die zur Wiederherstellung des Ausgangszustandes verbrauchte Arbeit, ganz unabhängig von der Art der Maschine und unabhängig vom verwendeten Medium. Bis dahin hatten die Erfinder die verschiedensten Arbeitsmedien versucht, um den Wirkungsgrad der Maschinen zu verbessern. Auch durch die Ausführungen Carnots wurde dieses Streben nicht überflüssig. Von der idealen Wärmekraftmaschine, die Wärme hundertprozentig in mechanische Arbeit umsetzt, war die Technik weit entfernt.

An sich ist die Voraussetzung und das Ergebnis der Carnotschen Untersuchungen selbstverständlich, wenn man die Gültigkeit des Energiesatzes nicht bestreitet. Problematisch wurde die Theorie erst, als Clausius den von Thomson eingeführten absoluten Nullpunkt der Temperatur von der mathematischen Theorie auf die technische Wirklichkeit übertrug und überdies einen Kreisprozeß erfand, der, im direkten Gegensatz zur Voraussetzung Carnots, einen positiven Wirkungsgrad aufweist: Dieser rein theoretisch-mathematische Kreisprozeß erzeugt mehr Arbeit als zur Wiederherstellung des Ursprungszustandes verbraucht wird.

Die von Clausius verdorbene Formel für den Wirkungsgrad thermischer Maschinen war für die technische Praxis ein mächtiger Hemmschuh. Nach Carnot, das habe ich schon ausgeführt, war der Wirkungsgrad $\eta = (t_2 - t_1)/t_2$. t_0 war eine reale Temperatur, eben die niederste, dem Techiker wirklich zur Verfügung stehende Temperatur. Clausius setzt dagegen $\eta = (T_2 - T_1)/T_2$. T_0 ist hier ein irrealer Nullpunkt, der jenseits des physikalisch oder technisch Erreichbaren im Unendlichen liegt. Die energetische Temperatur macht das offensichtlich. Durch diese falsche Theorie erschien es von vornherein ausgeschlossen, Wärmeenergie vollständig in mechanische Arbeit umzusetzen. Die verworrenen Vorstellungen vom Wärmefluidum, das zum Teil in mechanische Arbeit verwandelt wird, zum Teil unverwandelt von hoher Temperatur zur niederen Temperatur

herunterfällt, und zwar „von selbst", diese undurchdachten Kombinationen des mathematischen Physikers Clausius habe ich bereits analysiert.

Nach der falschen Formel von Clausius, mit absoluter Nulltemperatur, war also der Wirkungsgrad einer Maschine nur dadurch zu verbessern, daß man die obere Temperatur des Arbeitsmediums erhöhte. Denn trotz der Clausiusschen Behauptung, „alle Körper kühlen sich von selbst ab", war in der technischen Wirklichkeit die untere Temperatur T_1 durch die Umgebungstemperatur festgelegt.

Bei den Niederdruckdampfmaschinen von Watt, wie bei der atmosphärischen Maschine von Newcomen steigt die Dampftemperatur kaum über 100°. Nehmen wir eine durchschnittliche Kondensatortemperatur von etwa 20° an, so ergibt die Formel von Clausius etwa $\eta = 0{,}21$. Die tatsächlich erreichten Wirkungsgrade von 1% bei Newcomen und 3% - 4% bei Watt blieben weit unter diesem theoretischen Ideal. Um die Jahrhundertwende war der Dampfdruck auf etwa 10 Atmosphären gestiegen, was einer Dampftemperatur von 180° entspricht. Nach der (falschen) Formel von Clausius ergibt sich ein Wirkungsgrad von 0,35. Der tatsächlich erreichte Wirkungsgrad der Dampfmaschinen dieser Zeit von etwa 0,15 blieb wieder weit unter dem theoretischen Wert. Die Theoretiker waren zufrieden, denn zumindest die Tendenz der falschen Formel wurde bestätigt: Je höher die Dampftemperatur, desto höher der Wirkungsgrad. Allerdings folgt der gleiche Schluß auch aus der richtigen Formel von Carnot mit relativen Temperaturen.

Bevor wir die Entwicklung der Dampfmaschinen weiter verfolgen, wollen wir auch den Wirkungsgrad der Verbrennungsmotoren mit der falschen Theorie vergleichen. Bei diesen Maschinen, Gasmotor, Benzinmotor und Dieselmotor, erreichen die Verbrennungsgase Temperaturen von etwa 2000°. Der Auspuff erfolgt in die Umgebung, sagen wir von 20°. In die falsche Formel von Clausius eingesetzt

ergeben diese Temperaturen einen idealen Wirkungsgrad von $\eta = (2273 - 293)/2273 = 0{,}87$. Wird ein solcher Motor im Winter bei $-20°$ betrieben, dann erhöht sich der Wirkungsgrad noch um 1% auf 0,88. Die wirklich erreichten Werte von 0,15 - 0,45 liegen wieder weit unter der Theorie. Welchen Wert kann eine Formel haben, die den doppelten oder gar den fünffachen Wert der technischen Wirklichkeit angibt? Vor allem bringt diese Theorie keinerlei Aufschluß darüber, warum der Dieselmotor nahezu den doppelten Wirkungsgrad erreicht als der Ottomotor, obwohl beide im gleichen Temperaturbereich arbeiten. Die Temperatur ist nur ein Kriterium für den Wirkungsgrad von Wärmekraftmaschinen, keineswegs das wichtigste.

Die Dampfturbinen erreichten zu Beginn unseres Jahrhunderts kaum den Wirkungsgrad der Kolbendampfmaschinen. Einen entscheidenden Fortschritt konnte Franz Lösel erzielen, indem er die Treib- und Umlenkräder der Dampfturbinen sehr schmal machte: „Brünner Salamiturbine" (Prof. Törfl, Prag). Zur gleichen Zeit entwickelte sein Kollege Kaplan seine Wasserturbine. Franz Lösel und Viktor Kaplan erhielten für ihre Leistungen das Ehrendoktorat.

1923 erhöhte Lösel den Dampfdruck seiner Turbinen auf 30 at. Dadurch konnte eine Brennstoffersparnis von etwa 40% erzielt werden. Die Hochdruckdampfturbine wurde rasch auf der ganzen Erde übernommen.

Auch diese Verbesserungen ließen sich noch im Rahmen der mechanischen Theorie von Clausius erklären. Einem Dampfdruck von 30 at entspricht eine Dampftemperatur von 235°. Nach Clausius wäre der ideale Wirkungsgrad 0,42, was der technischen Wirklichkeit näher kommt. Die neuere Entwicklung der Dampfturbinen ging diesen Weg weiter, der Dampfdruck wurde auf 150 at und mehr erhöht, und dementsprechend auch die Dampftemperaturen. Die nach der Theorie damit verbundene Verbesserung des Wirkungsgrades, bei 400° etwa 0,56, konnte jedoch nicht erreicht

werden. Diese Verbesserungen des Wirkungsgrades lagen noch immer in der Richtung der theoretischen Formel von Clausius.

Das revolutionäre Dampfturbinentriebwerk von Lösel

1943 konstruierte Franz Lösel sein Dampfturbinentriebwerk, das die bisher erreichten Wirkungsgrade weit übertraf. Nach den mir vorliegenden Angaben errechne ich einen Wirkungsgrad von über 0,60. Lösel hielt sich nicht mehr an die Thesen der falschen Theorie. Allein aus der praktischen Forderung nach einer möglichst vollständigen Auswertung der zugeführten Wärme, also durch Vorwärmung in den Abgasen und durch das abgearbeitete Medium, konnte Lösel diesen außerordentlichen Wirkungsgrad erreichen. Revolutionär aber und der Theorie von Clausius direkt entgegen ist es, daß Lösel das Temperaturgefälle in seinem Triebwerk nicht vergrößerte, sondern um zwei Drittel reduzierte: Das Dampfturbinentriebwerk arbeitet mit Betriebstemperaturen zwischen 350° und 450° - 500°. Nach der falschen Formel von Clausius könnte eine solche Wärmekraftmaschine einen idealen Wirkungsgrad von 0,14 - 0,19 erreichen. Der Löselmotor übertrifft dieses falsche Ideal um ein Vielfaches. Damit wird die Clausiussche Formel auch technisch widerlegt und meine energetische Wärmetheorie bestätigt.

Die geringe Abkühlung des Arbeitsmediums beim Löselmotor auf nur 350° statt wie üblich auf 20° hat wesentlichen Anteil an dem außerordentlich hohen Wirkungsgrad dieser Maschine. Daß Wärmekraftmaschinen weit unter dem Ideal bleiben, folgt nicht aus einer Minderwertigkeit der Wärmeenergie. Die Maschinen sind minderwertig. Vor allem ihre einseitige Arbeitsweise ist falsch: Es wird nur die mechanische Veränderung des Mediums, die mit seiner Erwärmung verbunden ist, ausgewertet, die Volums- und Druckvergrößerung. Die vom Medium bei der Druck-Volumsvergrößerung aufgenommene Wärme bleibt weitgehend

ungenützt. Auch die Volumsverkleinerung bei der Abkühlung könnte mechanische Arbeit bringen. Die ersten gemischten Dampfmaschinen von Watt, die Kolbenarbeit sowohl durch Dampfzufuhr, als auch durch den atmospärischen Druck erzielten, waren primitive Ansätze einer solchen zweifach wirkenden Wärmekraftmaschine.

Noch ergänzend zu Lösels Dampfturbinentriebwerk: Durch eine geniale Kesselkonstruktion erreicht der Löselmotor eine Anlaufzeit von 2 Sekunden und ein Betriebsgewicht von 0,5 kp/PS. Das Dampfturbinentriebwerk war für den Antrieb von Flugzeugen konstruiert worden.

Die Energiebilanz der Dampfmaschine

Bevor wir uns weiter den allgemeinen Prinzipien der Wärmekraftmaschinen zuwenden, sei noch kurz die Energiebilanz einer Dampfmaschine untersucht. Nehmen wir als einfachstes Beispiel die Wattsche Maschine, die mit etwa 1 at Dampfdruck arbeitet. Um Dampf von 1 at herzustellen, benötigen wir folgende Wärmemengen:

1. Erwärmung des Wassers von 20° auf 100°	80 Cal
2. Verdampfungswärme	539 Cal
zus.	619 Cal

Von den 539 Cal Verdampfungswärme werden etwa 7,5% als äußere Verdampfungswärme zur Volumsvergrößerung verbraucht, das sind etwa 40 Cal. Von den insgesamt aufgewandten 619 Cal werden also 40 Cal, das sind 6,4%, zur Erzeugung von mechanischer Arbeit aufgewandt.

Die atmosphärischen Maschinen, wie die ersten Niederdruckmaschinen von Watt, arbeiteten mit einer Druckdifferenz von 0,8 at. Dazu benötigten sie den Kondensator mit einer Abkühlung auf etwa 20°. Lassen wir jetzt diesen Kondensator weg und erwärmen wir den Dampf auf 120° bis zum Druck von 1 atü. Dampf in diesem Bereich hat eine spezifische Wärme von etwa 0,5 Cal:

3. Erwärmung des Dampfes von 100° auf 120°	10 Cal

Durch diese 10 Kalorien erreichen wir sogar eine höhere

Druckdifferenz als die Wattsche Niederdruckmaschine: auf der einen Seite des Kolbens einen Dampfdruck von 2 at, auf der Auspuffseite (ohne Kondensation) Luftdruck von 1at. Die Maschine müßte also etwas mehr leisten als die Wattsche Maschine, den Druckdifferenzen von 0,8 at bzw. 1 at entsprechend etwa um 20% mehr. Watts Maschine erreichte einen Wirknngsgrad von etwa 1%, sie verbraucht pro Einheit 619 Cal. Nehmen wir für unsere Maschine, bei der Dampf von 100° auf 120° erwärmt wird, den gleichen mechanischen Wirkungsgrad an. Bei unserer Maschine fallen 80 Cal für die Erwärmung des Kondensatorwassers auf 100° weg und ebenso die gesamte Verdampfungswärme von 539 Cal. Wir benötigen somit für eine um 20% größere mechanische Arbeitsleistung nicht mehr 619 Cal, sondern nur noch 10 Cal. Das ergäbe, denn Wattschen Effekt angenommen, einen Wirkungsgrad von etwa 77%.

Es geht hier nicht um genaue Zahlen, sondern um das Prinzip: Diese Überlegung beweist genau das Gegenteil von dem, was CLAUSIUS beweisen will. Nach der falschen Formel von Clausius hat Watts Maschine einen idealen Wirkungsgrad von 0,21 (in Wirklichkeit 0,1 - 0,3), unsere reine Dampfmaschine aber, ohne Kondensator und ohne Kondensation des arbeitenden Dampfes dürfte nach Clausius nur 0.05 erreichen, also weniger als 1/4 der Wattschen Maschine. Niemand wird diese Ergebnisse der Clausiusschen Formel für realistisch halten. Die falsche Theorie hat in den letzten hundert Jahren die Technik der Wärmekraftmaschinen in eine völlig falsche Richtung gelenkt. Das beweist unsere Überschlagsrechnung ebenso wie das Dampfturbinentriebwerk von LÖSEL. Der Wirkungsgrad einer Wärmekraftmaschine wird weder durch die Höhe des Temperaturfalles, noch durch absolute Temperaturen bestimmt. Der Wirkungsgrad hängt im wesentlichen davon ab, wie die zugeführte Wärme verwertet wird. Nach diesem Prinzip hat Lösel sein Dampfturbinentriebwerk entwickelt,

nachdem ich ihn (durch Mayers falsche Rechnung) davon überzeugt hatte, daß die Formel von Clausius, mit absolutem Nullpunkt, falsch ist.

Die Größe der Wärmeenergie

Die Wärmeenergie eines Zweikörpersystems ist gegeben durch das Produkt aus Wasserwert der beiden Körper mal Temperaturdifferenz zwischen den beiden Körpern:

$$E = (Q_1 + Q_2) \cdot (t_2 - t_1). \qquad (3)$$

Ein Einzelkörper hat keinerlei Energie, auch keine Wärmeenergie, welche Temperatur er auch immer haben mag.

Eine sehr große heiße Masse und eine sehr kleine kalte Masse besitzen als Zweikörpersystem nach Formel (3) eine sehr kleine Wärmeenergie: etwa eine große Menge glühenden Metalls und ein kleines Stück Eis. Ein solches System hat trotz der hohen Temperatur und trotz des großen Wasserwerts des einen Körpers nur eine sehr kleine thermische Energie. Diese Relationen entsprechen völlig der Newtonschen Gravitation, wenn man die Mengenparameter Q_1, Q_2 und die Intensitätsparameter t_1, t_2 der Wärmeenergie durch die entsprechenden Mengenparameter M, m und die Intensitätsparameter h, H (Fallhöhen zum gemeinsamen Schwerpunkt) der Gravitationsenergie ersetzt. Die Wärmeenergie hat in der Physik keine Sonderstellung, Wärmeenergie ist nicht minderwertig.

Die Formel (3) war implizit schon in der Theorie von BLACK (1770) und CARNOT (1824) enthalten. Diese Energieformel ist mit der mechanischen Theorie von CLAUSIUS unvereinbar. An sich folgt diese Formel aus der Definition der Energie.

Die Mechanik der Wärmekraftmaschinen

Der Begriff der mechanischen Energie ist durch Newtons Mechanik vorgegeben. Die mathematischen Mechaniker der folgenden Jahrhunderte haben diese Begriffe jedoch weitgehend von der physikalischen Wirklichkeit abstrahiert.

Auch hier gilt, wie bei der Wärmeenergie: Ein Einzelkörper hat keinerlei Energie; er hat daher auch keine mechanische Energie, er kann keine mechanische Arbeit leisten. Besonders gefährlich erscheint mir der Begriff der lebendigen Kraft, der einem Einzelkörper eine absolute Geschwindigkeit und eine absolute Energie zuschreibt. Vor allem sei hervorgehoben, daß nur die räumliche Verschiebung gegen einen Widerstand eine Arbeitsleistung ist.

Bei einer Temperaturänderung eines Körpers erfolgen im allgemeinen auch Volumsänderungen der Körper. Als mechanisches Beispiel wählen wir zwei Metallstäbe mit verschiedener Temperatur. Werden die beiden Stäbe zusammengebracht, so wird der eine wärmer, der andere kälter. Mit Erwärmung ist zumeist eine Volumszunahme, mit Abkühlung eine Volumsverringerung verbunden. Diese Volumsänderungen sind imstande, bedeutende Widerstände zu überwinden.

Eine einfachste Wärmekraftmaschine wäre also ein Metallstab, der erwärmt wird, durch Sonnenwärme, durch elektrischen Strom oder durch Verbrennungswärme. Durch die Volumsvergrößerung kann ein Gewicht gehoben werden (um bei diesem elementaren Arbeitsbegriff von Planck zu bleiben). Beim Abkühlen des Stabes auf Umgebungstemperatur kann wieder Arbeit gewonnen werden. Auch hier werden bedeutende Kräfte wirksam, die in der Technik vielfach genutzt werden.

Wir hätten damit eine doppelt wirkende Maschine, die sowohl die Volumsänderung bei Erwärmung, als auch die Volumsänderung bei Abkühlung auswertet.

Bei einer solchen Maschine werden zwar große Kräfte wirksam, die Verschiebungen sind aber sehr gering, da der Ausdehnungskoeffizient fester Körper sehr klein ist.

Noch einmal sei besonders auf die Tatsache hingewiesen, daß hier bei der Abkühlung, wenn Wärme nach außen abgegeben wird, auch mechanische Arbeit nach außen

geleistet wird. Das trifft auch für die atmosphärische Maschine von Newcomen zu. Nach der mechanischen Theorie dagegen ist 1. nur eine Volumsvergrößerung mit Arbeitsleistung verbunden, und 2. kann nach dieser Theorie nur aufgenommene „Wärme" in mechanische Arbeit umgewandelt werden. Die gleiche Schwierigkeit haben wir beim Wasser, wo die Zufuhr von „Kälte", also wieder die Wärme abgabe, unter 4° zu einer Volumsvergrößerung und zu mechanischer Arbeitsleistung führt. Beim Gefrieren werden, unter Wärmeabgabe, ganz gewaltige mechanische Kräfte wirksam. Über solche Widersprüche geht die mechanische Theorie großzügig hinweg.

Gas als Arbeitsmedium

Um zu einer brauchbaren Wärmekraftmaschine zu kommen, muß man ein Medium mit einem möglichst hohen thermischen Expansionskoeffizienten wählen. Hier bieten sich die Gase an mit einem Ausdehnungskoeffizienten von $\alpha = 0{,}0036$. Ein Beispiel wäre unsere Dampfmaschine, die in einem Temperaturintervall von 100° bis 120° arbeitet. Die Schwierigkeit solcher Gasmaschinen besteht darin, wie man rasch hinreichende Mengen des Gases auf die erforderliche Temperatur bringt. Wird Luft verwendet, so steht uns diese in unbegrenztem Maße zur Verfügung, der große Rauminhalt bedingt aber entsprechend große Heizflächen. Eine Lösung bieten die Verbrennungsmotoren. Die thermischen Bedingungen sind aber keineswegs ideal. Einerseits steht uns eine sehr hohe Verbrennungstemperatur zur Verfügung, die zu entsprechenden Volums- bzw. Druckerhöhungen führen sollte. Die Arbeitszylinder selbst sind aber künstlich gekühlt, so daß es zu einer vollen Entwicklung der Druckerhöhung nicht kommen kann. Weiter wird dann fast die gesamte erzeugte Wärmemenge ungenutzt, sogar unter Arbeitsverbrauch, ausgestoßen. Mit dieser Auspuffwärme könnte man nahezu die gleiche Volums- und Druckerhöhung noch einmal erreichen. Selbst im Idealfall könnte

man mit unseren Verbrennungsmaschinen höchstens einen Wirkungsgrad von 0,5 erzielen, wie er bei großen Dieselmotoren mit 0,45 auch beinahe erreicht wird.

Die Vorteile der Dampfmaschinen

Die Dampfmaschine bietet gegen die Gasmaschine den Vorteil, daß das Arbeitsmedium ständig in konzentrierter Form als Flüssigkeit bereitsteht: Bei Dampfbedarf wird automatisch die entsprechende Wassermenge verdampft. Der wesentlichste Nachteil, darauf habe ich schon verwiesen, liegt darin, daß die innere Verdampfungswärme praktisch nichts zur Arbeitsleistung beiträgt. Bei der Auspuffmaschine geht diese Wärmeenergie völlig verloren. Bei der Kondensatormaschine kann die wieder frei werdende Verdampfungswärme zum Aufheizen des Mediums verwendet werden, natürlich mit Verlusten. Zur mechanischen Arbeitsleistung trägt sie auch hier nichts bei.

Das Ziel muß daher sein, diese Verdampfungswärme möglichst gering zu machen. Beim Wasser wird dieses Ideal bei 374°, bei der kritischen Temperatur erreicht. Die Verdampfungswärme wird gleich null, die Dichten des Wassers und des Dampfes werden einander gleich. Die in diesem Bereich zugeführte Wärme wird also nur zur Erwärmung des Mediums und zur Überwindung des äußeren Druckes aufgewendet. In diesem Bereich arbeitet auch das Dampfturbinentriebwerk von Lösel. Das Medium wird bei einem Druck von 300at (kritischer Druck bei 374° 217,5at) auf 450° - 500° erwärmt. Der Dampf treibt dann die Turbine, und in der Turbine wird er wieder auf 300° abgekühlt, um einen entsprechend niederen Gegendruck zu erhalten. Durch eine weitgehende Auswertung der Verbrennungsabgase für die Vorwärmung des Wassers konnte Lösel den einmaligen Wirkungsgrad erreichen. Die Verringerung der Verdampfungswärme ist eine wichtige Möglichkeit, den Wirkungsgrad einer Dampfmaschine zu erhöhen. Im Bereich der kritischen Temperatur bietet sich diese Möglichkeit.

Die Verdampfungswärme könnte jedoch auch noch auf anderem Wege vermieden werden, wenn man nämlich die Maschine mit erhitzten Flüssigkeiten betreibt. Im allgemeinen ist der Ausdehnungskoeffizient der Flüssigkeiten nicht wesentlich höher als der fester Körper. In der Nähe der kritischen Temperatur jedoch erreichen Flüssigkeiten Ausdehnungskoeffizienten, die den der idealen Gase sogar übersteigen. So ist zwischen 0° und 30° der Ausdehnungskoeffizient von flüssigem CO_2 0,017. Mit solchen Medien kämen wir überdies weg von den hohen Temperaturen und Drücken der Wasserdampfmaschinen. Ein weiterer Vorteil wäre wieder die große Dichte der Flüssigkeiten, die eine raschere Aufnahme großer Wärmemengen ermöglicht als dies bei Gasen von geringer Dichte möglich ist.

Gase und Dämpfe haben jedoch einen wesentlichen Vorteil in der Volumselastizität. Flüssigkeiten in der Nähe des kritischen Bereiches erhalten durch die Verdampfung diese Elastizität, ohne Energieaufwand für den Übergang vom flüssigen zum gasförmigen Zustand.

Medien, die bei Umgebungswärme bereits hohe Dampfdrücke erreichen, deren kritische Temperatur also in diesem Bereich liegt, geben die Möglichkeit, die natürlichen Temperaturdifferenzen unserer Umgebung, oder konzentrierte Sonnenenergie auszuwerten.

Die schwierige Theorie

Für die mechanische Theorie der Wärme wurde ungeheuer viel Scharfsinn aufgewendet. Zwei Gründe dafür sehe ich. Erstens kam die Theorie immer wieder mit der Wirklichkeit in Widerspruch; ich denke etwa an die Energiezerstreuung und an den Kältetod. Mit immer neuen Finten mußte die Theorie an die physikalische Wirklichkeit angepaßt werden. Der zweite Grund scheint mir aber wichtiger: Da die mathematische Theorie von einem abstrakten Idealreich, weitab von jeder experimentell überprüfbaren Wirklichkeit handelt, stand der mathematischen Phantasie

ein weites Feld freier Betätigung offen, wie das Planck eben vom Gedankenexperiment so anschaulich ausführt. Ganz die gleichen Bedingungen galten auch von Ensteins arationalen Einfällen, die der mathematischen Spekulation ein ideales Spielfeld lieferten.

Das Ende von Einsteins Phantastereien ist jetzt gekommen. Ebenso muß das leere Gebäude der mechanischen Wärmetheorie zum Einsturz kommen mit all den kuriosen Besonderheiten, die die Wärme auszeichnen sollen. Damit wäre es auch an der Zeit, die Bedeutung der Mathematik in der Physik auf ein legitimes Maß zurückzuführen. Der Anspruch der mathematischen Physik, daß etwas mathematisch Bewiesenes auch richtig sein muß, wird durch die mechanische Wärmetheorie eindeutig widerlegt. Die elementaren Rechenfehler dieser Theorie sollten den naiven Glauben an die Unfehlbarkeit der mathematischen Methode problematisch machen.

Molekulare Energie und Kernenergie

Der weitaus überwiegende Teil der herkömmlichen Energie auf unserer Erde ist Wärmestrahlungsenergie des Systems Sonne - Erde. Nur ein Teil dieser Wärmeenergie wird direkt in mechanische Energie umgesetzt, in Volumsänderungen. Durch die Erwärmung und Abkühlung von Erde und Wasser wird die Luft erwärmt und abgekühlt und dadurch in Bewegung gesetzt. Gerade jene Energien aber, die für unsere technische Energiegewinnung von Bedeutung sind, die Wasserkraft und die Brennstoffe, kommen aus molekularen Wirkungen der Wärmeenergie. Ohne Verdunstung gäbe es kein fließendes Wasser. Die Brennstoffe schließlich entstehen direkt aus molekularen Umsetzungen.

Die Zukunft der Energiegewinnung wird in dieser Richtung liegen. Eine wesentliche Verbesserung der mechanischen Wärmekraftmaschinen ist durchaus möglich, wie das Dampfturbinentriebwerk von Lösel beweist. Auch die Benzol-Wasserdampfmaschine von Doczekal mag ein Weg sein.

Gelänge es, den Wirkungsgrad der Antriebsmotoren auf bescheidene 50% zu bringen, so würden die fossilen Brennstoffe für die doppelte Zeit reichen. Für die nächsten Jahrhunderte wären wir — ohne Spekulationen der „Geldmacher" — aller Energiesorgen enthoben.

Die molekulare Auswertung der chemisch gebundenen Wärmeenergie erreicht heute schon in den verschiedensten Vorrichtungen Werte, die weit über dem Wirkungsgrad mechanischer Wärmekraftmaschinen liegen. Im lebenden Organismus, für den die Umsetzung von Nahrung in mechanische Bewegungsenergie nur ein Nebenprodukt des Lebens ist, werden Wirkungsgrade bis zu 75% erreicht.

Vor allem die direkte Umsetzung der Wärmeenergie in elektrische Energie bietet noch ein hoffnungsvolles Feld der Forschung. Sicher ist, daß hier völlig neue Wege beschritten werden müssen, Wege, die vielfach durch die falsche Theorie versperrt waren.

Die Kernenergie, die tausende kommender Generationen mit ihrem todbringenden Abfall belastet, ist das größte Verbrechen gegen die Menschlichkeit, das je von Menschen in die Wege geleitet wurde.

Ich halte es für durchaus möglich, ja für sicher, daß wir einmal die Kernenergie beherrschen werden, wenn die Menschheit nicht vorher durch eben diese Kernenergie degeneriert und ausgerottet ist. Wir haben gelernt, die Kernenergie in Bewegung zu setzen, für die Bombe. In den Kraftwerken werden die ausgelösten gewaltigen Energien gebremst, mit großem Risiko. Die radioaktiven Abfälle (soweit sie nicht profitbringend für die Bombe nützlich sind) und die radioaktiven Kraftwerksruinen überläßt man hilflos künftigen Generationen. Ohne Zweifel kann die Radioaktivität, die wir für die verbrecherische Vernichtung im Krieg in Bewegung gesetzt haben, auch gelenkt und zum Stillstand gebracht werden. Wir warten noch auf den genialen Mann, dem dies gelingt. Von einer technischen

Reife ist die Kernenergie, die nicht einmal 1% der entstehenden Energie auszuwerten vermag, noch sehr weit entfernt.

Wärmeenergie und Molekülenergie

Mit dem Druck dieser Arbeit bin ich am Ende angelangt. In einem wesentlichen Punkt mußte ich meine Ansicht ändern. Die Bedeutung der Wärmeenergie bleibt unbestritten. Dagegen muß ich die Mol.-Energie als eine eigene Energieform ganz besonders hervorheben. Die molekulare Energie ist weder mechanische Energie, noch umgewandelte oder gebundene Wärmeenergie. So wie die Kernenergie den Anspruch erhebt, eine spezifische Energieform zu sein, so muß man dies auch für die Mol.-Energie fordern.

Diese Auffassung bringt wesentliche neue Gesichtspunkte. Nach der geltenden Theorie sagen wir zum Beispiel:

A. Die zugeführte Verdampfungswärme wird in innere und äußere (molekulare) Energie umgewandelt.

Nach der mechanischen Theorie sind Wärme, innere und und äußere Energie einfach mechanische Energieformen.

Richtig muß man formulieren:

B. Bei Atmosphärendruck und 100° bewirkt die molekulare Energie des Wassers einen Übergang in den gasförmigen Zustand. Diese molekulare Umsetzung ist endotherm, wie jede Verdunstung mit Temperaturerniedrigung verbunden. Unter 100° kommt die (molekulare) Verdampfung zum Stillstand. Durch Wärmezufuhr muß die Flüssigkeit wieder auf die Verdampfungstemperatur (bei Atmosphärendruck) gebracht werden.

Die Wärmezufuhr liefert also nicht die für die Verdampfung nötige Energie. Der Übergang von der flüssigen in die gasförmige Phase wird primär aus der eigenen molekularen Energie gedeckt. Die Wärmezufuhr (Druckerniedrigung) liefert nur die für die molekulare Umsetzung nötige Bedingung: 100° (1 at).

Die Wärme ist also nicht wirkende Ursache, sondern auslösende Ursache. Auch der Funke, der eine Explosion auslöst, liefert nicht die in der Explosion freiwerdende Energie (obwohl die Energie des Funkens natürlich in die Gesamtenergie eingeht).

Dieses Prinzip verwirklicht die Wärmepumpe: bei bestimmter Temperatur endotherme Verdampfung auf Kosten der molekularen Energie, bei bestimmter Temperatur exotherme Kondensation auf Kosten der molekularen Energie. In beiden Fällen wird eine Temperaturdifferenz aufgebaut, also Wärmeenergie durch Mol.-Energie produziert. Die geltende Theorie will die Menge des Wärmefluidums, das bei niederer Temperatur der Umgebung entzogen wird, gleichsetzen jener Menge von Wärmefluidum, die bei hoher Temperatur nach außen abfließt. Nach der energetischen Wärmetheorie ist hier die abgegeben Energie nicht mehr unmittelbar gleich der aufgenommenen Energie. Die Mol.-Energie ist nicht aus der äußeren, auslösenden Arbeitsleistung zu errechnen. Sie kann nur umgekehrt aus der Energieabgabe nach außen gemessen werden.

Gewiß ist die Auswertung molekularer Energien nicht allein auf thermische und mechanische Effekte beschränkt. Der Molekularbeschleuniger von Raymond KROMREY, Genf, ein Generator, setzt mechanische Energie in etwa 130% elektrische Energie um.

Im Gegensatz zu diesen technisch ausgeführten Maschinen, Wärmepumpe und Kromrey-Generator, ist die Isotherme von Planck, die Wärme vollständig in mechanische Arbeit umsetzt, reine mathematische Fiktion: „Läßt man ein Gas sich unter Arbeitsleistung ausdehnen, und hält dabei die Temperatur des Gases durch gleichzeitige Zuleitung von Wärme aus einem Wärmebehälter von höherer Temperatur konstant, so kann man sagen, daß die von dem Wärmebehälter abgegebene Wärme vollständig in Arbeit verwandelt wird.“ Auch so viele Wörter machen nicht

wahr, was Planck behauptet: „Gegen diesen Ausspruch läßt sich nicht das mindeste Tatsächliche einwenden."

Die Kernphysiker erklären ihre Energie durch den Massendefekt. Eine rein quantitative Relation dient als Erklärung. Nur mit sehr verschwommenen Begriffen kann man Energie und Masse gleichsetzen. Man muß dazu auch Masse und Materie für identisch halten.*) Jedenfalls könnte man diese Erklärung auch für die Mol.-Energie in Anspruch nehmen. Ich kann es ertragen, daß ich nicht weiß, woher die Kernenergie und woher die Mol.-Energie kommt.

Die molekulare Energie bietet ein weites Arbeitsfeld für eine neue Energie-Chemie. Die Chemie sieht ihre Aufgabe in der Umwandlung der Stoffe. Die anfallenden Energieprobleme bleiben mehr im Hintergrund des Interesses. Eine Ausrichtung auf Energiegewinnung stellt die Chemie vor völlig neue Aufgaben. In den experimentellen Forschungsergebnissen dieser Wissenschaft liegt ein gewaltiger Bestand an Tatsachen vor, der, nach diesem neuen Gesichtspunkt ausgewertet, gewiß zu überraschenden Ergebnissen führen muß.

*) Ausführliche Abhandlung in G. Barth, „Rationale Physik" und „Einstein widerlegt"

N. L. Sadi CARNOT: „Betrachtungen über die bewegende Kraft des Feuers...", 1824. In Ostwalds Klassikern. Sein Vater Graf L. N. Carnot war Kriegsminister Napoleons.

O. D. CHWOLSON, Lehrbuch d. Physik, Braunschweig 1922

John EGGERT, Lehrbuch d. Physikalischen Chemie, Zürich

EUCKEN - WICKE, Grundriß d. Phys. Chemie, Leipzig 1959

F. HABER, Thermodynamik technischer Gasreaktionen, München 1905

Ernst MACH, Die Prinzipien d. Wärmelehre, Leipzig 1923

Heinrich MACHE, Einführung i. d. Theorie d. Wärme, Berlin

Julius Robert v. MAYER, Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur, Liebigs Annalen 1842

MAX PLANCK, Theorie der Wärme, Leipzig 1930

Rudolf PLANK, Die logarithmische Temperaturskala, Forschung 4. Bd. Heft 6, 1933/11,12

Diese Arbeit erhielt ich kurz vor Beendigung des Druckens. Plank verweist auf

K. SCHREBER, Wied. Ann. Bd. 64 (1898) und „Grundlagen und Grundbegriffe d. Physik d. Vorgänge" Leipzig 1933

Planks Skala entspricht meiner energetischen Temperaturskala, nur hält Plank $\alpha = 0{,}00366$ nach Dalton und Gay-Lussac bei, während ich $\alpha = 0{,}01$ vorschlage. Planks Anliegen war die Tieftemperaturmessung. Er sieht den Vorteil der logarithmischen Skala (Vorläufer Dalton und Kelvin) in einer vereinfachten Darstellung der Thermodynamik. Er kommt zu dem sensationellen Schluß, „daß der thermische Wirkungsgrad nur von der Temperaturdifferenz zwischen

der warmen und der kalten Quelle abhängt; die absolute Höhe der Temperatur hat gar keinen Einfluß." Schon Schreber hatte dies erkannt. Die eminente Bedeutung dieses Satzes für die Wärmekraftmaschinen wird nicht erwähnt. Plank führt dieses Ergebnis auf seine Temperaturskala zurück, während er in Wirklichkeit bei der Formel von Causius auf den absoluten Nullpunkt T_0 zurückgeht, bei der logarithmischen Skala aber auf den relativen Nullpunkt eines „Carnotschen" Kreisprozesses. Näheres dazu in meinem Beitrag in WISSEN im Werden 1975/4.

H. POINCARÉ, Thermodynamik, Berlin 1893

K. Lothar WOLF, Theoretische Chemie, Leipzig 1948

Theodor WULF, Lehrbuch der Physik, Freiburg Br. 1929

Gotthard BARTH, Rationale Physik, 1962, und verschiedene Aufsätze in „WISSEN im Werden" ab 1957

Amontons 11
Black 1, 8, 15, 64, 75
Boltzmann 52ff
Branca 62
Boyle 28, 64
Carnot 1, 4, 6, 16, 34, 37f, 50, 75, 85
Caux 61
Celsius 10
Clapeyron 25
Clausius 1, 19, 24ff, 38ff, 48, 54, 69ff, 74f
Dalton 11, 85
Doczekal 2, 80
Fahrenheit 10
Faraday 28, 59
Galilei 9
Gay-Lussac 11, 51
Gibbs 54
Guericke 64
Helmholtz 54, 59
Heron 61
Joule 51
Kelvin, Lord W. Thomson 11, 23, 51f 85
Kromrey 83
Krönig 54
Ktesibios 61
Laue 20, 46
Langen 64
Lenard 18
Lösel 2, 4, 41, 71ff, 74, 78
87

Mache 46
Mariotte 28
Maxwell 28, 59
Mayer 1, 32ff, 37, 41, 59
Nernst 12
Newcomen 63f
Newton 10, 65
Ostwald 5, 37, 46
Otto 64
Papin 63, 66
Pascal 64
Planck 20, 22f, 53, 65, 83
Plank 85
Poincaré 22
Potter 66
Reaumur 10
Savary 62
Schreber 85
Seebeck 68
Torricelli 10, 64
Watt 66f
Worchester 62

Diese Arbeit habe ich geschrieben, gesetzt und gedruckt. Unter ständigem Zeitdruck habe ich auch allein die Korrekturen gelesen. Ich bitte, die Druckfehler zu entschuldigen.

Gotthard Barth

INHALT

Die Notwendigkeit einer neuen Theorie 1

Die Theorie der Wärme

Die elementaren Erfahrungen 8
Die Wahl der Maße und Maßeinheiten 9
Die „absolute" Kelvinskala 11
Die energetische Temperaturskala 12
Die Wärmemenge 15
Die Wärmeenergie 16
Die mathematische Mechanik der Wärme 17

Die mechanische Wärmetheorie von Clausius

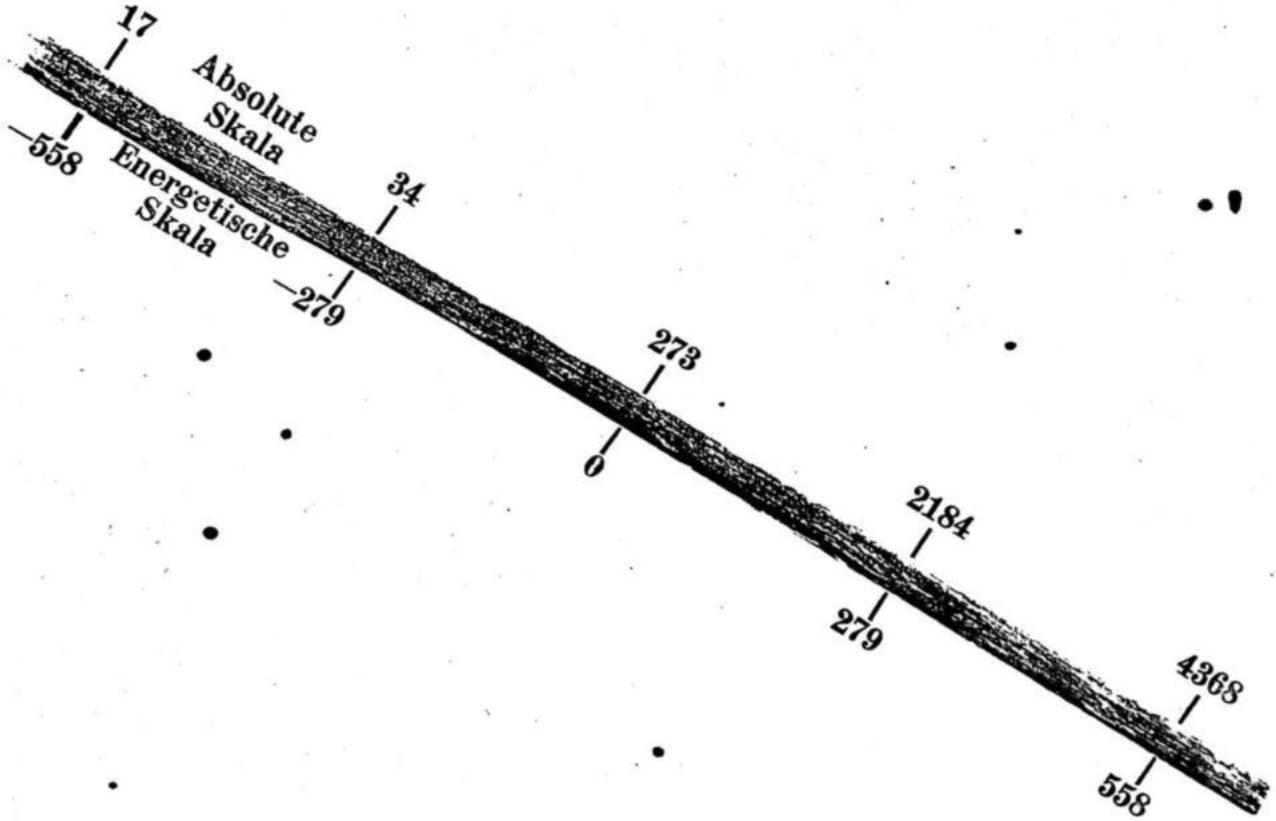
„von selbst" 19
Der 2. Hauptsatz 22
Die Minderwertigkeit der Wärme 24
Das unvollständige Differential p.dv 29
Die Druckänderung 30
Mayers Gedankenexperiment und die Wirklichkeit 35
Mayer und der Wirkungsgrad 37
Arbeitsleistung und Wirkungsgrad 40
Der Wirkungsgrad von Mayers Experiment 41
Das pv-Diagramm 42
Die Isotherme beim Einzelkörper der mathematischen Theorie 42
Isochore und Isobare 48
Die Adiabate 49
Der Joule-Thomson-Effekt 51

Der 2. Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie

„Energieentwertung" 52
Die kinetische Gastheorie 54
Makrophysikalische Atome und Moleküle 57

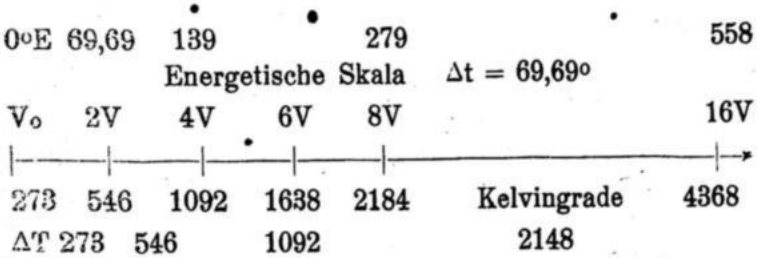
Wärmekraftmaschinen 59
Die Geschichte der Dampfmaschine 60
Die Rolle der Grundlagenforschung 64
Von Newcomen zu Watt 65
Der Wirkungsgrad der Dampfmaschine 67
Das revolutionäre Dampfturbinentriebwerk von Lösel 72
Energiebilanz der Dampfmaschine 73
Die Größe der Wärmeenergie 75
Mechanik der Wärmekraftmaschinen 75
Gas als Medium 77
Vorteile der Dampfmaschinen 78
Die schwierige Theorie 79
Molekulare Energie und Kernenergie 80
Wärmeenergie und Molekülenergie 82
Literaturhinweise 85
Namensverzeichnis 87

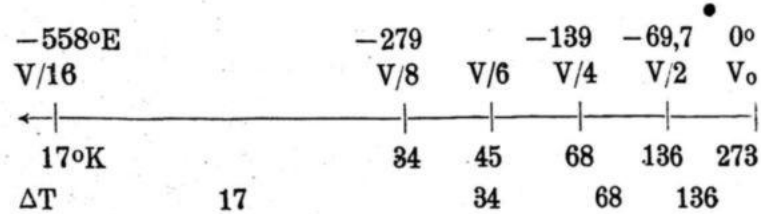
Gedruckt von Gotthard Barth, A 2091 Langau - Hessendorf
Österreich 11 1975


17
Absolute
Skala
34
−558
Energetische
Skala
−279
273
0
2184
279
4368
558

Energetische Temperaturskala ($\alpha = 1\%$)

von Gotthard Barth und Skala von Lord Kelvin.





5 PROBLEMBÜCHER von
Gotthard BARTH

Rationale Physik
Grundlagen einer Wissenschaft
335 Seiten 1962 Ganzleinen S 126,-- DM 20,--

Das Eine und das Werden
Die Dialektik der alten Griechen
96 Seiten 1967 S 30,-- DM 5,--

Einstein widerlegt
Rationale Physik gegen magisch-paradoxe Theorie
143 Seiten 3. erweiterte Auflage 1968 S 36,-- DM 6,--

„Magische Physik"
„Jener anmaßende Schwindel" (Nobelpreisträger F. Soddy)
Mit einem einführenden Beitrag
von Univ. Prof. Dr. Wilhelm MÜLLER, München
76 Seiten 1970 S 39,--DM 6,--

Energetische Wärmetheorie
November 1975 S 60,-- DM 9,--

Portofreie Zusendung vom Verlag
WISSEN im Werden, A 2091 Langau - Hessendorf